Republic of Ecuador





GPE INEN 21 (1978) (Spanish): Guía práctica. Mampostería reforzada

BLANK PAGE

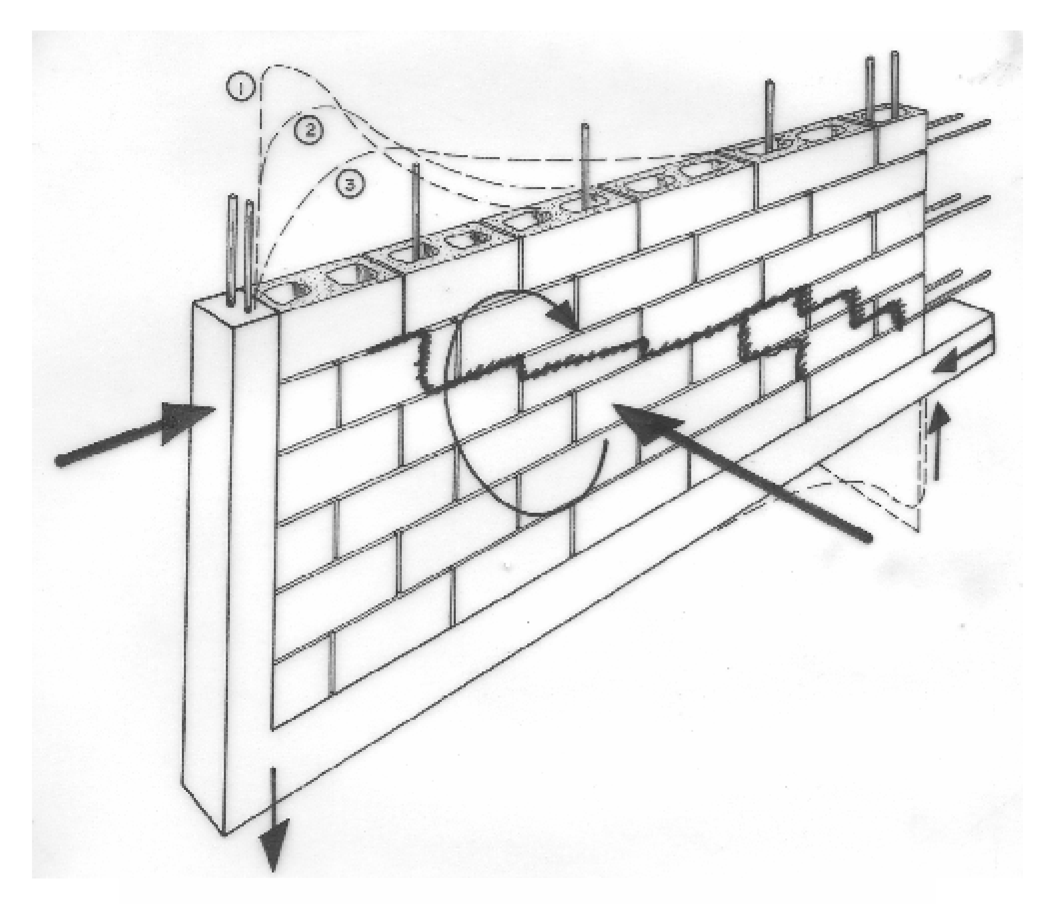




INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

guía de práctica

GP-021



mampostería reforzada

Ing. Arq. Sjoerd Nienhuys
Asesor División de Construcción

Ing. Carlos Naranjo C.
Coordinador Código de la Construcción

Quito - Ecuador

INTRODUCCION

Desde los primeros tiempos, ya un tanto lejanos de la construcción en hormigón armado, los investigadores y técnicos que empezaron a usar las estructuras de este nuevo material en los edificios encontraron que, a pesar de no tomarse en cuenta en el diseño y en el cálculo, en realidad se producía una intensa colaboración entre las estructuras soportantes de hormigón armado y los muros de mampostería de ladrillo soportados por estas estructuras.

La observación de estos fenómenos sugirió a varios ingenieros estructurales, especialmente norteamericanos, a desarrollar el sistema conocido como *mampostería reforzada* aprovechando la colaboración mecánica de los dos materiales para resistir los esfuerzos de la estructura, con un objetivo principalmente económico.

En el Ecuador se comenzó a aplicar este método de construcción a raíz del terremoto de 1949, en la reconstrucción de las poblaciones destruidas en la provincia del Tungurahua; y desde entonces, ha tenido mucha difusión; pero esta difusión ha sido en gran parte empírica y no se han realizado mayores estudios de este sistema de construcción, considerando las condiciones técnicas y económicas del medio ecuatoriano.

Por esta razón, en los últimos años y a raíz de otras catástrofes naturales producidas en el país, se ha tratado de racionalizar tanto los métodos de construcción generales de la estructura de hormigón armado, como también los de mampostería reforzada.

En la Parte *1 Requisitos Generales de Diseño,* del Código Ecuatoriano de la Construcción (1977), consta una serie de especificaciones para el cálculo de los esfuerzos que actúan sobre las edificaciones debido a movimientos sísmicos.

Estos esfuerzos son consecuencia del peso de la edificación, tipo de suelo de cimentación, tipo de construcción, etc. Justamente, debido a los diferentes tipos de construcciones, existen grandes diferencias en el comportamiento y en los esfuerzos que realmente actúan sobre la construcción misma el momento de un sismo.

En cuanto a construcción, existe una combinación de elementos flexibles y rígidos; las partes rígidas toman casi todos los esfuerzos y la mampostería en dirección lateral, por sus materiales y construcción, es un elemento rígido.

La práctica existente en el Ecuador para construcciones de mampostería, especialmente sobre mampostería reforzada, no está suficientemente desarrollada para cumplir con los requisitos sismo-resistentes; por esta razón, el INEN ha elaborado este trabajo informativo sobre mampostería reforzada

INDICE

Guía Práctica Ecuatoriana	GUÍA PRACTICA DE MAMPOSTERIA REFORZADA.	GPE INEN 021:1987

CAPITULO 1.

GENERALIDADES

1.1 Terminología. El texto está sujeto a la terminología que se define en las siguientes normas INEN:

- INEN 293 Ladrillos Cerámicos.
- INEN 309 Coordinación Modular.
- CO 02.07-601 Código de Práctica de Mampostería.
- Código Ecuatoriano de la Construcción. Parte 1. Requisitos Generales de Diseño.
- Código Ecuatoriano de la Construcción. Parte 2. Requisitos de Diseño de Hormigón Armado.

1.2 Definiciones. Las siguientes definiciones aclaran algunos términos que se usan en esta publicación.

Mampostería. Conjunto de muros o paredes, con o sin refuerzo de varillas, vigas, columnas, etc. La mampostería puede ser de ladrillo, bloques, adobe, piedra, elementos de vidrio y otros materiales de albañilería.

Paredes. Son todos los elementos verticales soportantes y no soportantes de particiones y de cualquier material incluido, como: madera, yeso, bambú, metal, vidrio, etc. Cuando sean paredes soportantes (o muros de corte), es preferible especificarlas con esos nombres.

Muros. Igual que las paredes, pero más en el sentido de elementos soportantes. Se recomienda usar denominaciones como: muros de corte, muros soportantes, etc., cuando se trata de muros estructurales.

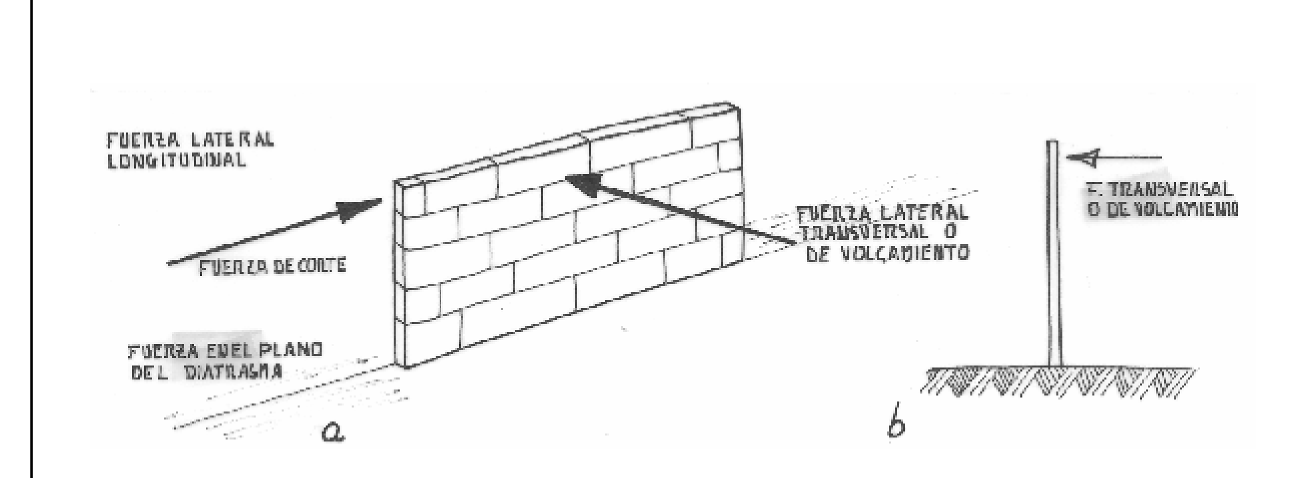
Diafragmas. Son todos los planos constructivos resistentes a cargas laterales en la edificación. Los muros, losas o cubiertas muchas veces tienen una función de diafragma coincidente con su función primaria.

Muros de apoyo lateral. Son diafragmas de muros soportantes, transversales a aquellos que proveen estabilidad lateral.

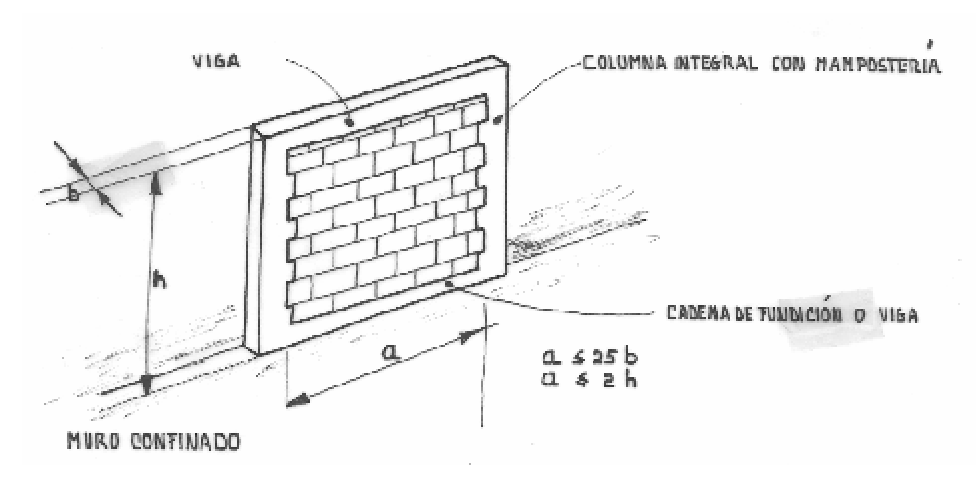
Tabiques. Son muros a los que en su diseño no se asignan cargas horizontales y/o verticales, excepto las provenientes de su propio peso.

Fuerzas laterales. Son fuerzas no verticales que actúan sobre un elemento. Cuando se trata de fuerzas laterales sobre muros, se deben considerar dos tipos:

a) fuerza lateral longitudinal (de corte),
b) fuerza lateral transversal (de flexión o de volcamiento)

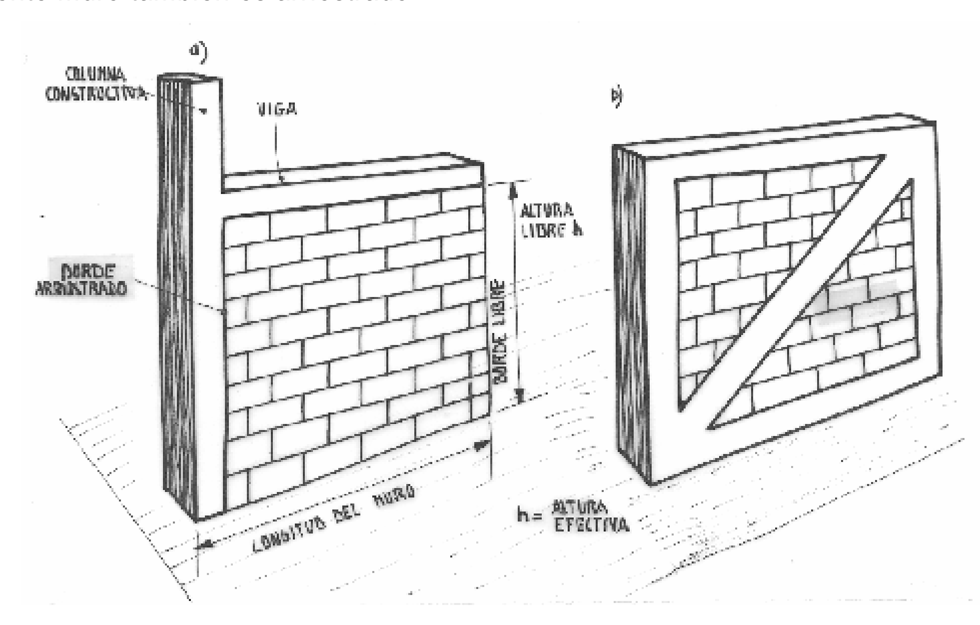


Muros confinados. Son muros que están enmarcados por vigas y columnas en sus cuatro lados, y que satisfacen las condiciones indicadas en el siguiente esquema. El muro confinado en su totalidad no tiene necesariamente una buena resistencia lateral transversal.



Muros arriostrados. Son muros cuya estabilidad lateral está confiada a elementos de apoyo lateral. Estos muros pueden incluir los muros confinados, así como los tabiques. Dos muros confinados y unidos perpendicularmente son muros arriostrados.

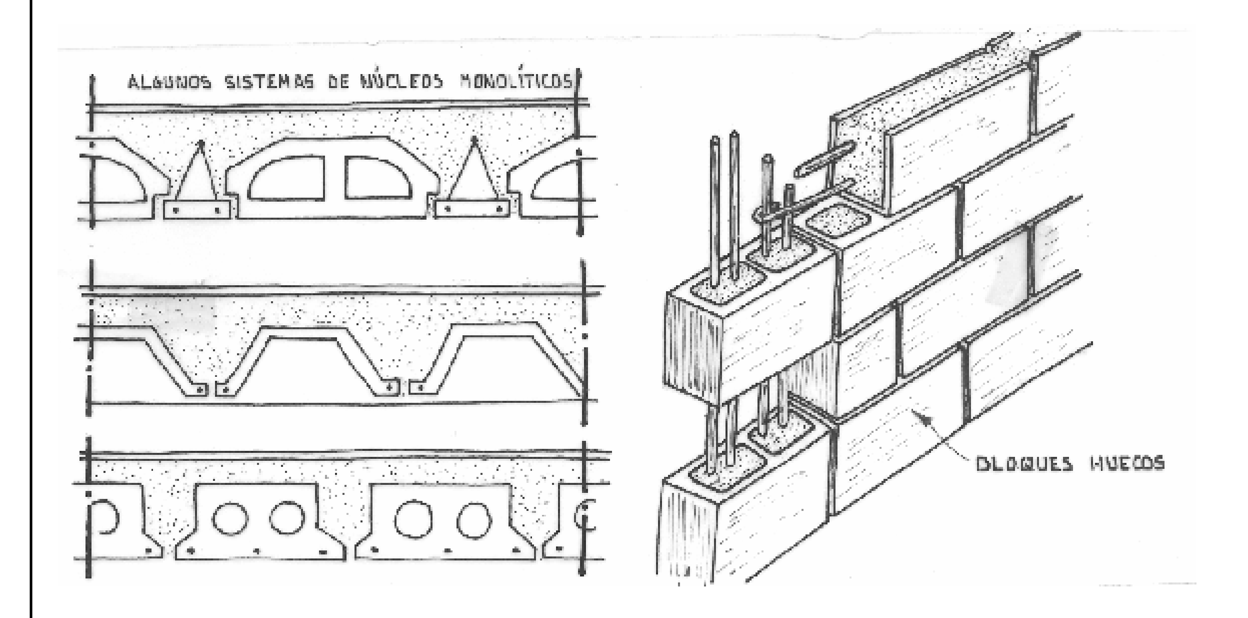
El siguiente muro también es arriostrado



Albañilería reforzada. Consiste en albañilería de bloques o ladrillos sin vigas de hormigón para confinación o arriostramiento, pero con un tipo de refuerzo que pase por dentro de la albañilería.

Construcción monolítica. Es el método de construcción según el cual las paredes soportantes y los pisos de hormigón armado son fundidos en un encofrado, de tal manera que toda la construcción del edificio sea un conjunto integral, sin cambios del material constructivo.

Construcción de núcleo monolítico. Es un método de construcción monolítica en que los encofrados de elementos prefabricados huecos quedan en la construcción y únicamente los núcleos son de hormigón armado. Estos núcleos forman un conjunto con el resto de la construcción monolítica. A este tipo de construcción pertenecen las construcciones con paredes de bloques huecos, que llenan y forman columnas y vigas.



Lechada de hormigón. Es una pasta fluida, elaborada a base de una mezcla de agua, cemento y arena (agregado fino), de consistencia semejante a la de una sopa espesa. La lechada de hormigón se usa para llenar elementos huecos, como bloques o ladrillos. El agua en exceso es absorbida por los elementos, lo cual reduce la alta relación agua-cemento de la pasta.

1.3 Forma del edificio. La forma del edificio influye mucho en las fuerzas que actúan sobre los diversos elementos de la construcción. Para evitar los problemas que se originan a causa de formas irregulares de las edificaciones, se deben observar las especificaciones prescritas en el Código Ecuatoriano de la Construcción. Las consecuencias de formas irregulares y de edificios no simétricos están explicadas en la Guía de Práctica de Construcciones Sismo-resistentes.

Especialmente, se debe cuidar la simetría de las construcciones, a fin de evitar momentos de torsión en el edificio.

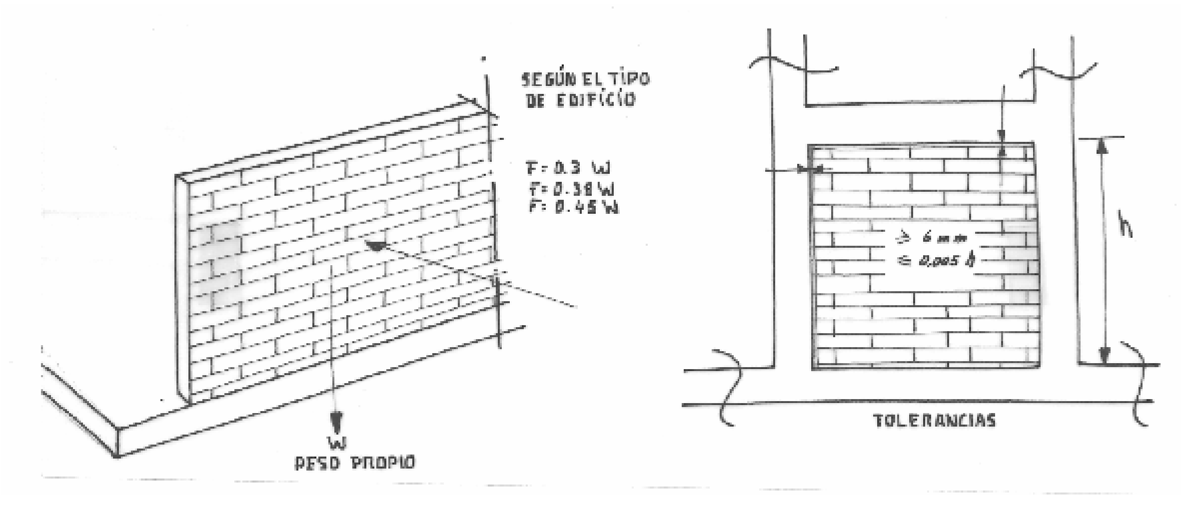
Los diafragmas, en general, funcionan en su dirección lateral longitudinal y no son muy resistentes a fuerzas transversales laterales de volcamiento. La fuerza de torsión, por consiguiente, es la combinación de estas dos fuerzas laterales, que da como resultado un doblamiento de la pared y torsión bajo las cargas verticales.

1.4 Auto-resistencia del muro. El muro o pared debe tener suficiente resistencia para soportar las fuerzas debidas al movimiento sísmico y el peso propio del muro. Cualquier muro o pared debe resistir una fuerza perpendicular igual al 30% de su propio peso.

Para edificios con mayor importancia social o donde se realicen reuniones de más de 300 personas, esta resistencia sería de 30%, y para edificios de servicios esenciales, el valor sería 45% (1,5 x 30%), pero siempre con una fuerza mínima de 25 kg/m^2 .

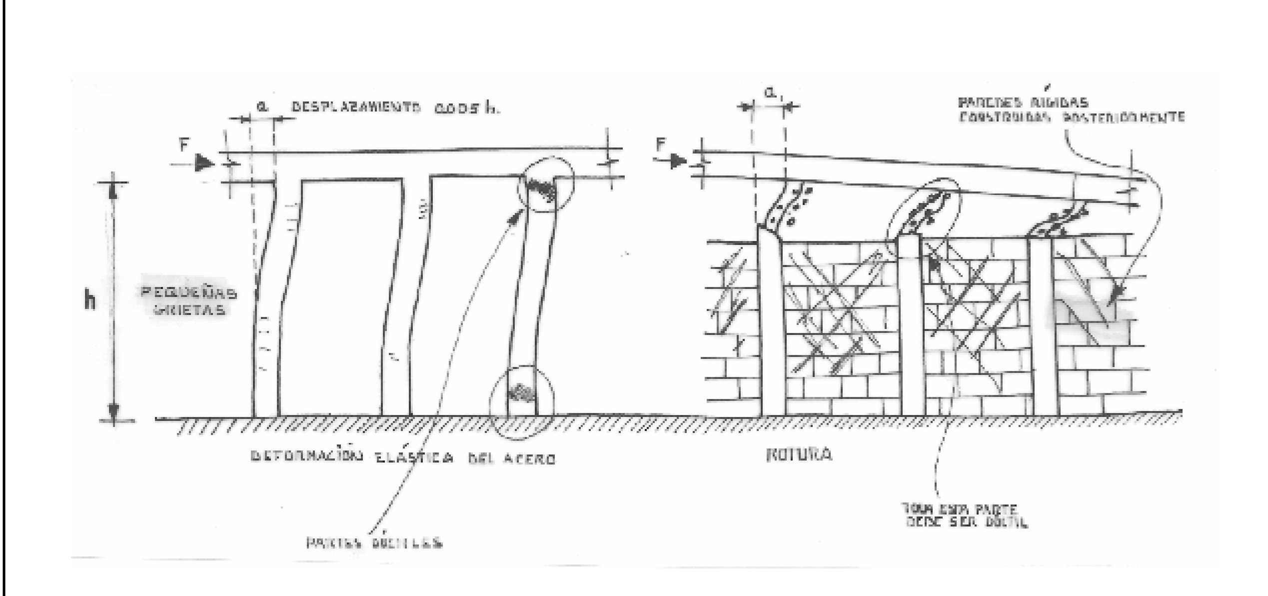
Las conexiones de muros, paredes o paneles deben resistir una fuerza igual a 2 veces el peso total del elemento.

Además, estas conexiones deberán tolerar movimientos relativos entre pisos por lo menos de 6 mm y máximo de 0,005 veces la altura del piso.

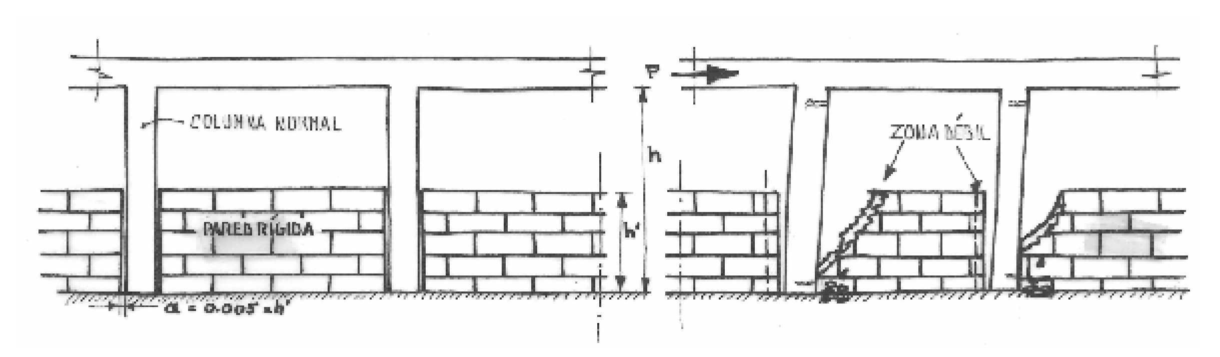


Cuando estos muros o paredes no tienen las tolerancias requeridas, pueden, en circunstancias especiales (como durante un sismo), funcionar o trabajar como partes estructurales. En ese momento, es necesario demostrar que la acción a la falla de estos elementos adicionales y más rígidos no deteriorará la capacidad resistente a cargas verticales y horizontales del sistema estructural principal.

Así, por ejemplo: la construcción de paredes de ladrillo macizo posterior produce un efecto de arriostramiento o muro resistente lateralmente y, por consiguiente, las fuerzas laterales originadas en un terremoto, incluido el efecto de vuelco, son atraídas hacia las zonas donde se encuentran estos elementos. Los ángulos de deflexiones son muy superiores a los previstos y hacen que las columnas adyacentes puedan incluso romperse, antes de que los muros de ladrillo lleguen al agotamiento, como se ilustra en la figura.

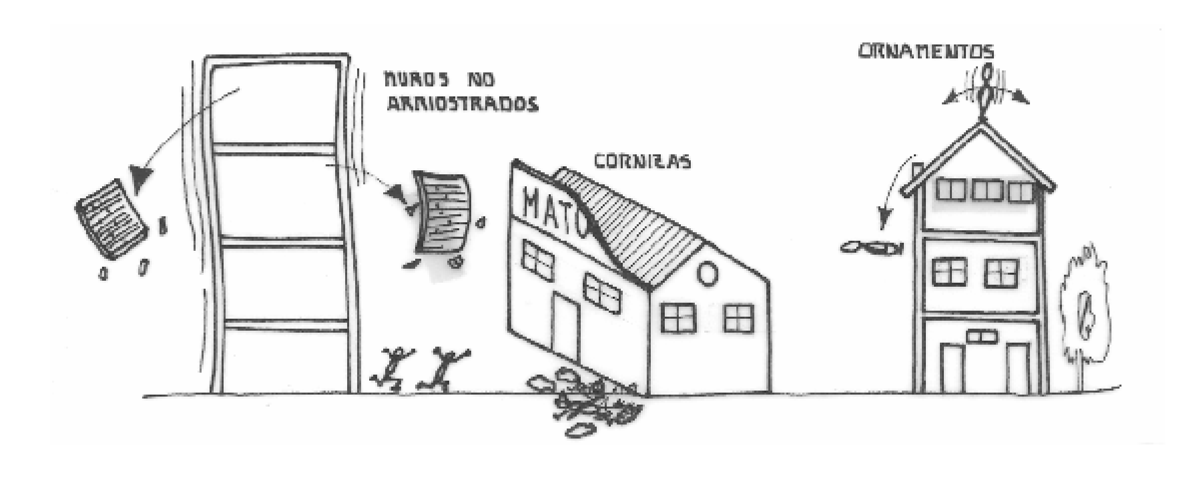


En caso de muros o paredes no estructurales que puedan afectar el funcionamiento de la estructura soportante principal, deberán tomarse las siguientes precauciones para evitar este efecto perjudicial:



1.5 Muros exteriores. Para todos los muros exteriores que están ubicados sobre las calles, áreas públicas, pasajes, etc., no sólo es importante que deban resistir las fuerzas sísmicas originadas por su propio peso, sino que también deben estar bien arriostrados.

El peligro que existe actualmente en muchas edificaciones realizadas en el Ecuador, es que las paredes se desprendan en su totalidad, cuando exista un exceso de flexión entre las columnas soportantes, durante un sismo.



Una solución poco adecuada consiste en fundir las columnas de confinamiento entre los muros ya construidos. Este procedimiento constructivo da como resultado únicamente un arriostramiento de los lados de los muros. Cuando se fijan las paredes a alambres que salen de las columnas (tensores usados para encofrados) y que no tienen una longitud suficiente, tampoco se produce un arriostramiento adecuado.

Un muro se considera arriostrado:

a) si existe suficiente adherencia, amarre y/o anclaje entre los muros y sus elementos de arriostramiento, de modo que garanticen una adecuada transferencia de esfuerzos;

b) si los elementos de arriostramiento tienen resistencia y estabilidad adecuadas para transmitir las fuerzas actuantes a elementos estructurales adyacentes o al suelo; y,

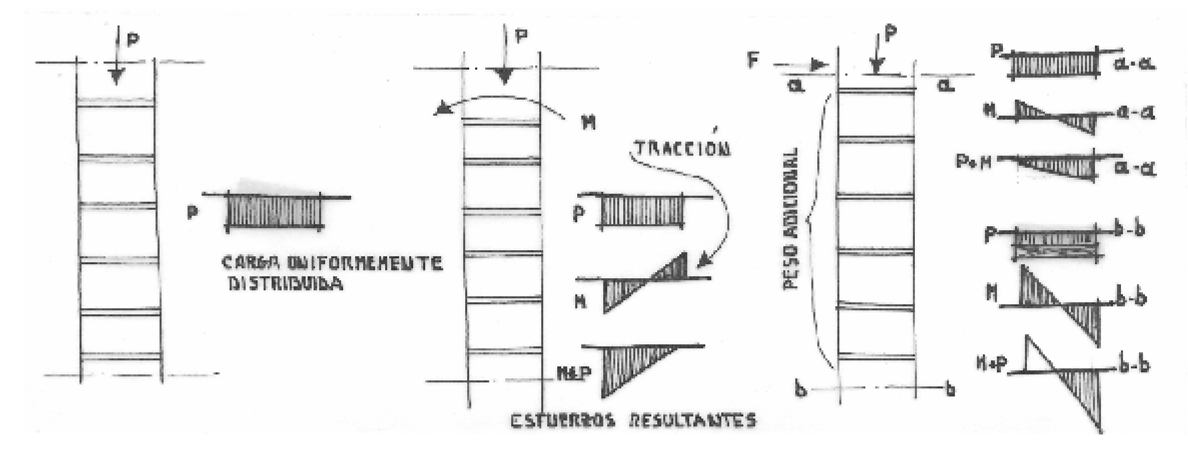
c) cuando, empleándose los techos para su estabilidad lateral, se tomen precauciones para que las fuerzas sean transferidas adecuadamente al suelo.

CAPITULO 2.

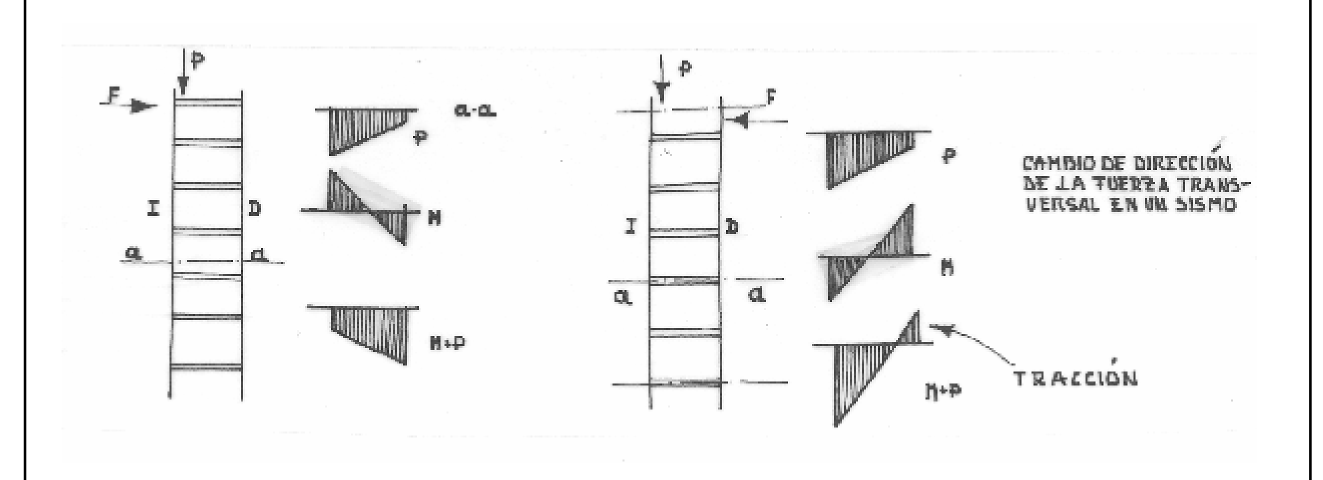
COMPORTAMIENTO DE LA MAMPOSTERIA BAJO CARGAS

2.1 Fuerzas interiores. Aunque cada ladrillo, bloque u otro elemento tiene cierta resistencia a la tracción, no se la considera para el cálculo y se toma en cuenta la resistencia a la compresión.

El momento aplicable transversalmente a la pared, con este axioma, es muy pequeño y depende de la carga vertical que actúa sobre la pared.



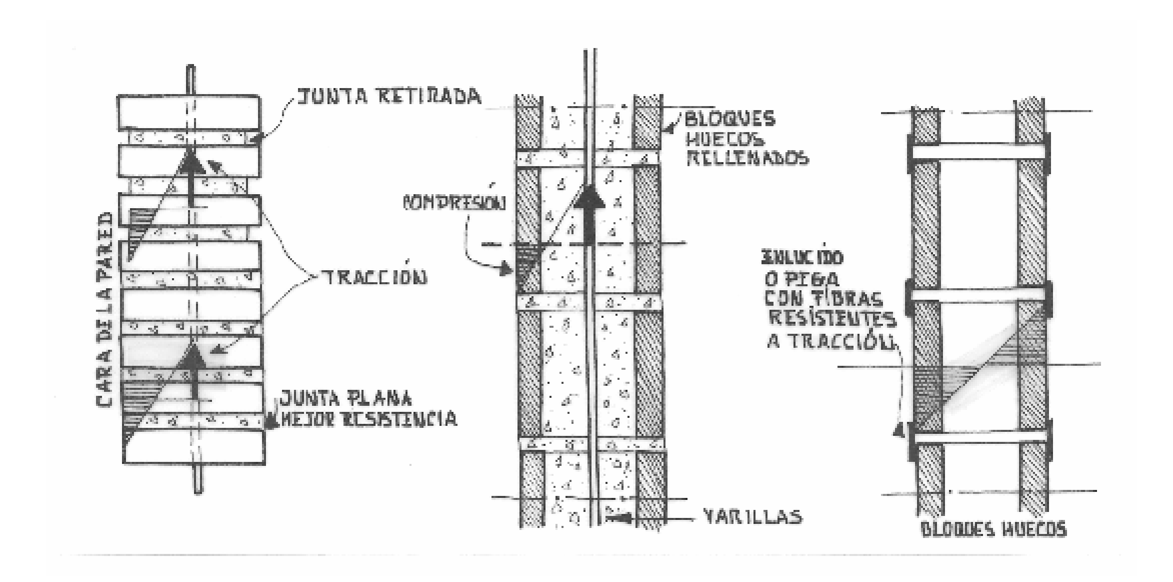
La distribución teórica de los esfuerzos por efecto de la carga vertical concentrada se ve afectada por los esfuerzos debido al momento. Esta variación de esfuerzos no debe dar como resultado fuerzas de tracción. En la línea b-b de la figura se producen fuerzas de tracción, y esta pared caerá cuando el material no resista a dichas fuerzas de tracción, como es el caso de la albañilería. Cuando la carga P no actúa concéntricamente sobre la pared, los esfuerzos resultantes del momento y de la carga son positivos en la primera situación, pero negativos en la otra.



Este tipo de solución puede usarse únicamente cuando el muro está sostenido por otro muro colocado al lado de la carga P (lado I) y perpendicularmente sobre la pared cargada.

Puesto que en un sismo la fuerza puede venir de cualquier dirección y el muro puede perder su pequeña resistencia a la tracción, no es recomendable diseñar la pared con cargas excéntricas, siendo mejor aplicar algún esfuerzo que dé resistencia a la tracción a la construcción.

2.2 Tracción - Presión. La mampostería reforzada debe ser diseñada de tal manera que las fuerzas trabajen únicamente en tracción. Los refuerzos que consisten en pilastras macizas adicionales no son muy aconsejables, porque éstas no sólo aumentan la base de la construcción para lograr una mejor estabilidad, sino también aumentan el peso de la misma construcción, considerablemente.



En los muros reforzados con varillas o tensores centrales, el diagrama de esfuerzos muestra que los esfuerzos debidos al momento se producen entre la cara de la pared y los tensores, puesto que se considera que la deformación bajo carga de los ladrillos o bloques es elástica y la fuerza se aumenta por el esfuerzo máximo en la cara del muro.

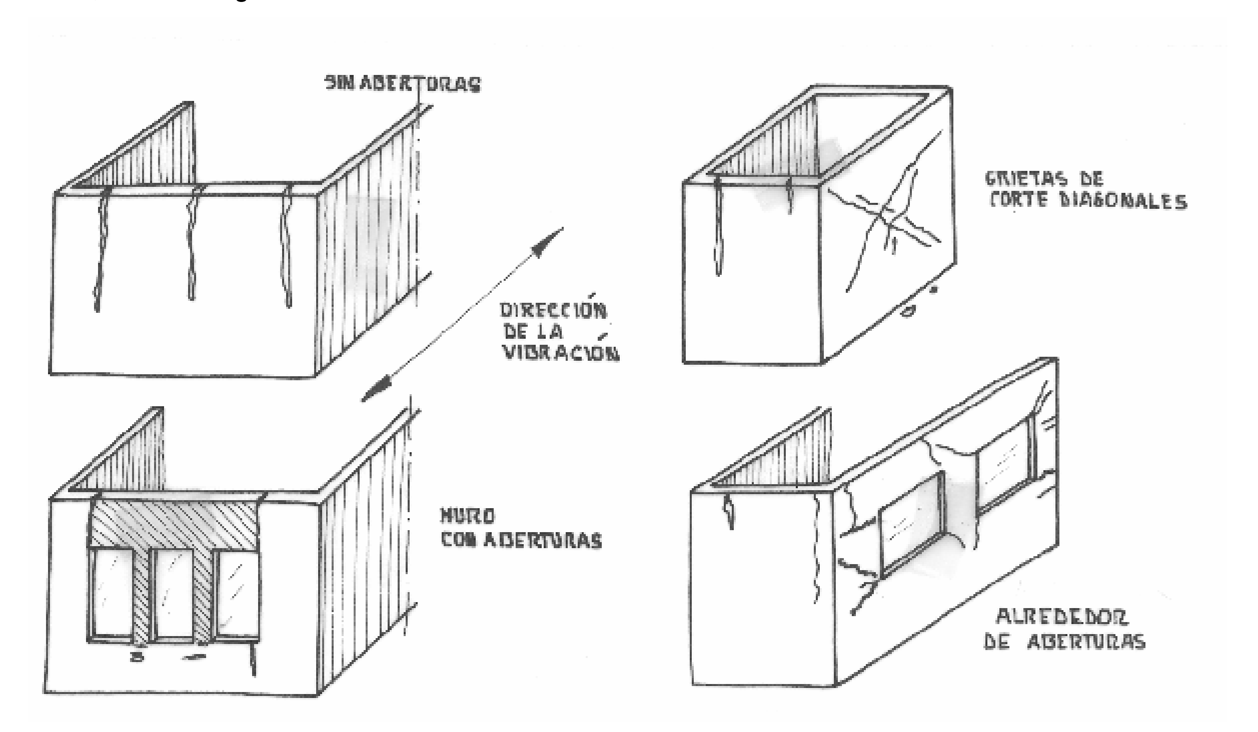
Por esta razón, es mejor que las juntas se lleven hasta la cara del muro, lo cual implica un aumento de resistencia. Además, el mortero de las juntas debe tener calidades iguales o mejores que las de los elementos. Los bloques huecos trabajan en compresión en la parte del espesor de la pared del bloque y la lechada de hormigón únicamente sirve para distribuir las fuerzas entre la pared y los tensores.

El tercer método consiste en la aplicación de un enlucido resistente a la tracción y que tenga una buena adherencia con los elementos.

Puesto que el problema de los muros es la falta de resistencia a la tensión en las juntas, este enlucido soluciona el problema.

Las fibras pueden ser, por ejemplo, de vidrio o asbesto y fibra de sisal. En la lechada de cemento se pone, a veces, una resina para mejorar la adherencia. En este método no se llenan los bloques y la fuerza de tracción está bien distribuida por toda la superficie del muro.

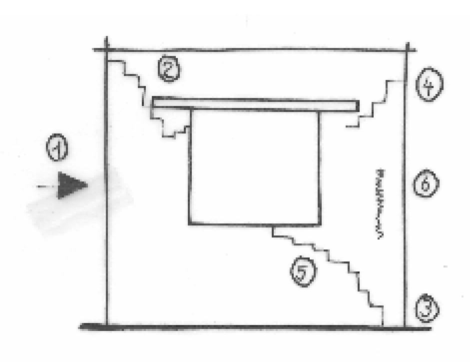
2.3 Muro no reforzado. Un muro no reforzado, y solicitado más allá de su resistencia durante un sismo, tiene las siguientes fallas:



Los muros perpendiculares a la dirección de la vibración se rompen verticalmente y se deslizan en las juntas con los muros transversales.

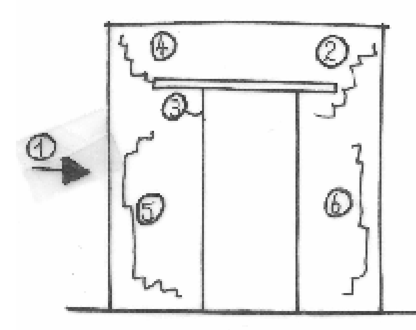
En los muros paralelos a la dirección de la vibración se producen grietas diagonales y alrededor de las aberturas, grietas horizontales y diagonales.

En ensayos hechos en construcciones se han constatado las siguientes características del colapso de muros con abertura de ventana.



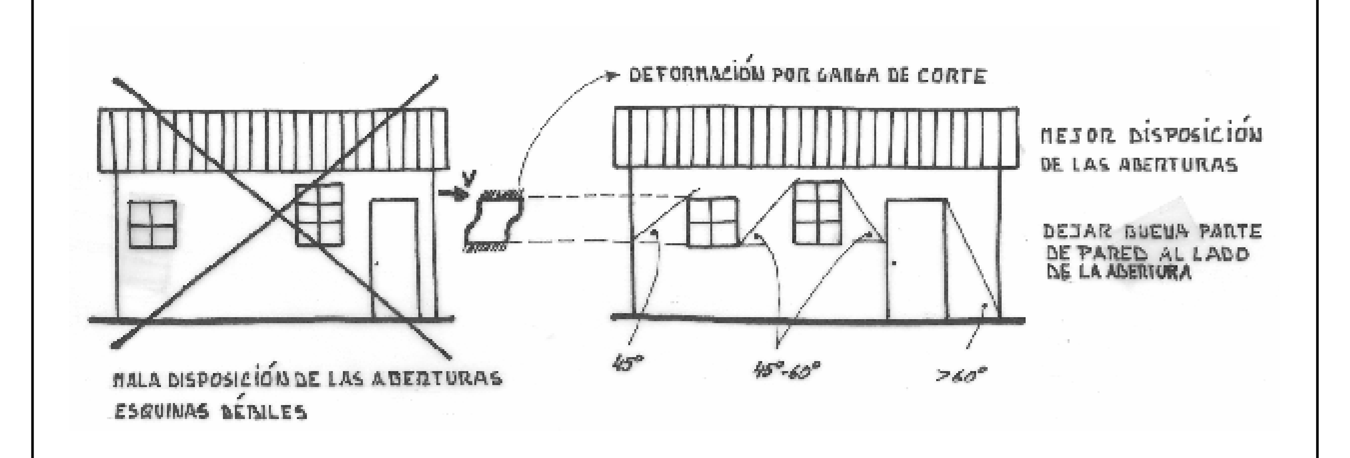
La grieta 6 es debida al movimiento lateral de la pared perpendicular y se conoce con el nombre de *cuarteamiento.*

Iguales grietas suelen aparecer en muros con abertura de puerta.



2.4 Distribución de aberturas. Las fuerzas del sismo sobre los pisos y muros son transferidas como fuerzas de corte por medio de los elementos de los muros, en los que las partes localizadas al lado de las aberturas de los muros son las más débiles.

Estas partes de la pared deben ser suficientemente anchas con relación a la altura; de preferencia el ancho debe ser igual a la altura libre y mínimo la mitad de la altura.



2.5 Conclusiones y recomendaciones. Las fallas en los muros aparecen en lugares donde hay cambios bruscos de las partes estructurales o cambios de rigideces. En los muros de albañilería, las fallas se producen en las esquinas de las aberturas, y son horizontales o diagonales, respecto a las fuerzas transversales y de corte, respectivamente.

Basados en análisis hechos en varios países, se puede constatar que:

a) la posición de las aberturas es determinante para la resistencia del muro;

b) la resistencia a fuerzas de corte o volcamiento en muros de albañilería sin refuerzo es muy escasa, y es función de la resistencia del material mismo;

c) la ubicación del refuerzo en el muro tiene gran influencia sobre su capacidad para resistir a las cargas laterales;

d) el uso de muros no reforzados para muros no estructurales (tabiques) debe hacerse de tal manera que la rigidez de estos muros no pueda intervenir en las partes estructurales;

e) no es recomendable el uso de muros exteriores no arriostrados para edificios de más de un piso;

f) se debe proporcionar un sistema de construcción que sea resistente en las dos direcciones transversales;

g) se deben hacer construcciones simétricas, tanto de geometría como en peso y rigidez, para evitar movimientos de torsión que siempre originan fuerzas transversales a los muros.

CAPITULO 3.

MATERIAL DE REFUERZO

3.1 Adherencia y resistencia al deterioro. El material de refuerzo o armadura debe tener una buena adherencia con los materiales de la mampostería, como es el caso del acero de hormigón. También este material de refuerzo debe ser resistente al deterioro, debido a humedad, insectos, tiempo, etc. Más apropiado parece ser el material inorgánico. Cuando se usen materiales orgánicos, los cuales son susceptibles de deterioro, se debe dar un tratamiento de conservación adecuado.

Como el material de mampostería trabaja únicamente en compresión, el material de refuerzo debe trabajar únicamente en tensión, como es el caso de muchas construcciones de hormigón armado.

3.2 Material resistente a la corrosión. El material de refuerzo, cuando es un acero, debe protegerse contra la corrosión en muros exteriores porosos y en muros interiores junto a baños, cocinas y otros lugares con gran humedad, como lavanderías, por ejemplo. Siendo la mampostería, en general, de un material un tanto poroso, el muro reforzado debe ser preferentemente un muro interior protegido del clima; pero, considerando los requisitos arquitectónicos, los muros estructurales interiores tienen, a veces, la desventaja de limitar la flexibilidad.

3.3 Interrelación. El material de refuerzo debe trabajar conjuntamente con el material de la mampostería. Es decir, cuando hay una falla del muro, también el refuerzo debe dejar de funcionar.

Por esta razón, existe un límite máximo de la cantidad del refuerzo, la cual se determina por las características del material del muro. Si es menor la resistencia a la compresión del muro, menor es el porcentaje del refuerzo.

Para muros de hormigón armado, se especifica un mínimo de refuerzo vertical de 0,0012 del área total de hormigón y de 0,0020 para el refuerzo horizontal.

Como máximo se especifica 0,50 en la fórmula de ρ_b

$$\rho_b = \frac{0{,}85\beta_1 \cdot f'c}{f_y} \cdot \frac{\varepsilon_c \cdot E_s}{\varepsilon_c E_c + f_y}$$

Donde:

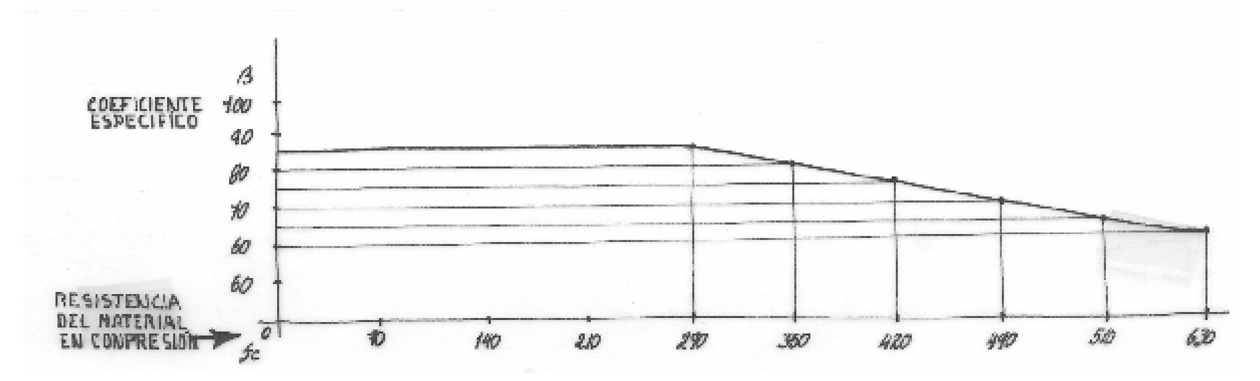
$\rho = \frac{A_s}{bd}$ = cuantía de refuerzo.

A_s = área del refuerzo en tensión.

b = ancho de la cara de compresión.

d = altura efectiva, distancia desde la fibra más alejada en compresión al centroide del refuerzo en tensión.

β_1 = coeficiente específico de Withney.



f'c = resistencia a la compresión del material en compresión.
f_y = resistencia al límite elástico del material en tensión.
e_c = límite de deformación elástica del material en compresión.
E_c = módulo de elasticidad del material en compresión.
E_s = módulo de elasticidad del acero.
$\varepsilon_c E_s$ = para hormigón armado es 6 000 hasta 6 300.

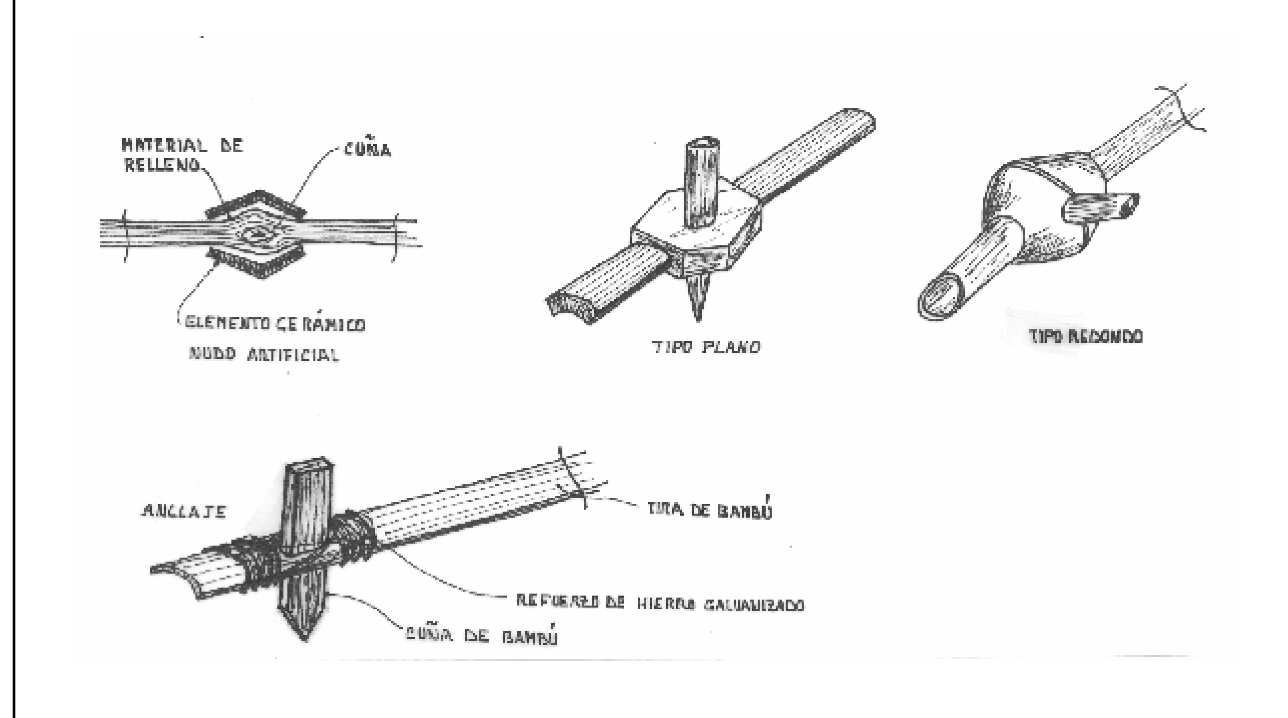
3.4 Adherencia. Esta fórmula puede usarse para determinar la sección necesaria del material en tensión.

Puesto que la adherencia de varios materiales con la mampostería es a veces inadecuada, se debe tomar el valor máximo de f_y para desarrollar los criterios de adherencia. Esto es importante, especialmente cuando la adherencia es determinante para las posibles fuerzas que se pueden aplicar a las varillas de refuerzo o a los refuerzos vegetales.

Cuando la adherencia del material de refuerzo vegetal es muy baja, se pueden mejorar las propiedades de adherencia con uno de los sistemas siguientes:

a) fijar unos elementos adicionales,
b) tratar la superficie.

A continuación se dan ejemplos de un sistema aplicable para bambú y nervios principales de palmera.



3.5 Diferentes materiales de refuerzo. Los materiales principales de refuerzo para hormigón y mampostería se pueden clasificar en los siguientes grupos:

Naturales		**Artificiales**	
vegetales	Minerales	minerales	sintéticos
tronco	Asbesto	vidrio	plásticos
líber		acero	
hojas			

De estas fibras, las artificiales son las más costosas, pero las fibras vegetales tienen ciertas desventajas, ya que su resistencia puede ser afectada por la putrefacción y la absorción de agua. Con la producción de derivados de petróleo, las fibras sintéticas serían más económicas a largo plazo.

Las *fibras* del tronco y a veces del líber tienen medidas mínimas para su utilización; en cambio, las fibras de las hojas pueden juntarse para hacer cuerdas o sogas.

En la siguiente lista no se ha incluido la paja ni otra caña como subproducto de la agricultura, porque estas cañas, por sus propiedades, sirven más para estabilizar la mezcla que para utilizarse como verdadero refuerzo.

3.6 Presencia en Ecuador. Los diversos materiales de refuerzo para hormigón o mampostería de ladrillos o bloques que se pueden encontrar y utilizar en el Ecuador son los siguientes:

MATERIAL	**CONSIDERACIONES PARA EL USO**
a) Acero - varillas: lisas y con resaltes.	Material de uso conocido y disponible - alta resisten Cia - alta adherencia con el hormigón - susceptible a fuerte corrosión cuando está expuesto a la humedad - alto precio.
b) Alambre galvanizado: liso o con púas.	Material disponible - alta resistencia - con púas, alta adherencia - resistente a la corrosión - alto precio – no utilizable para compresión.
c) Bambú - caña guadúa: tiras, cañas enteras, palos enteros. poca	Material disponible en gran cantidad - utilizado en la construcción para divisiones no constructivas de alta resistencia - absorbe agua y por esta razón tiene adherencia sin tratamiento especial - bajo precio

MATERIAL	CONSIDERACIONES PARA EL USO
d) Palmeras: - Aceite - Coco - Real - Africana	Material disponible en las selvas - utilizado en la construcción de pisos y partes soportantes - alta resistencia - poca absorción de agua - uso del tronco y la nervadura principal - bajo precio.
e) Sisal (agave siselana)	Cultivo nacional de la planta. Las fibras tienen alta resistencia, pero son susceptibles a la putrefacción cuando se humedecen por mucho tiempo - uso externo para agricultura - precios cómodos.
f) Abacá o cáñamo de manila (musa textiles)	Cultivo nacional - considerado como la mejor fibra natural - industrializada para papel - por las dificultades de cultivo, es relativamente cara.
Fique	El fique también existe en las selvas tropicales.
Banano común	Existe en toda la región Litoral o Costa.
g) Piña (Amasus comosus)	Se cultiva para obtener la fruta, la fibra es fuerte, tiene buena resistencia contra el desgaste.
h) Pita floja (Dechme Magdalene) agave-fique.	Otra planta que es muy común, crece sin necesidad de cultivo. Existe en el Ecuador con el nombre de Cabuya - fibra fuerte y resistente contra la putrefacción. El nombre de fique es utilizado en algunos países.
i) Cáñamo (Hemp Cannabis sativa)	Alta resistencia y alto módulo de elasticidad comparado con otras fibras, buena resistencia contra la humedad - buena resistencia física - de cultivo local - bajo precio, cuando es para consumo local.
j) Fibra de vidrio	Material inorgánico con alta resistencia a la tracción – totalmente resistente a la putrefacción y a la influencia de la humedad - hay posibilidades de producirse en el Ecuador (Zamora) - alto precio - alto módulo de elasticidad.
k) Fibra sintética	Material inorgánico con bajo módulo de elasticidad – hay posibilidades de producirse en el Ecuador a base de los derivados de petróleo (Polivinyl - poliuretano - polistireno)
l) Asbesto	Material inorgánico - material de construcción para hojas onduladas de techo - excelente comportamiento con cemento - problemas de contaminación del aire - alto precio.

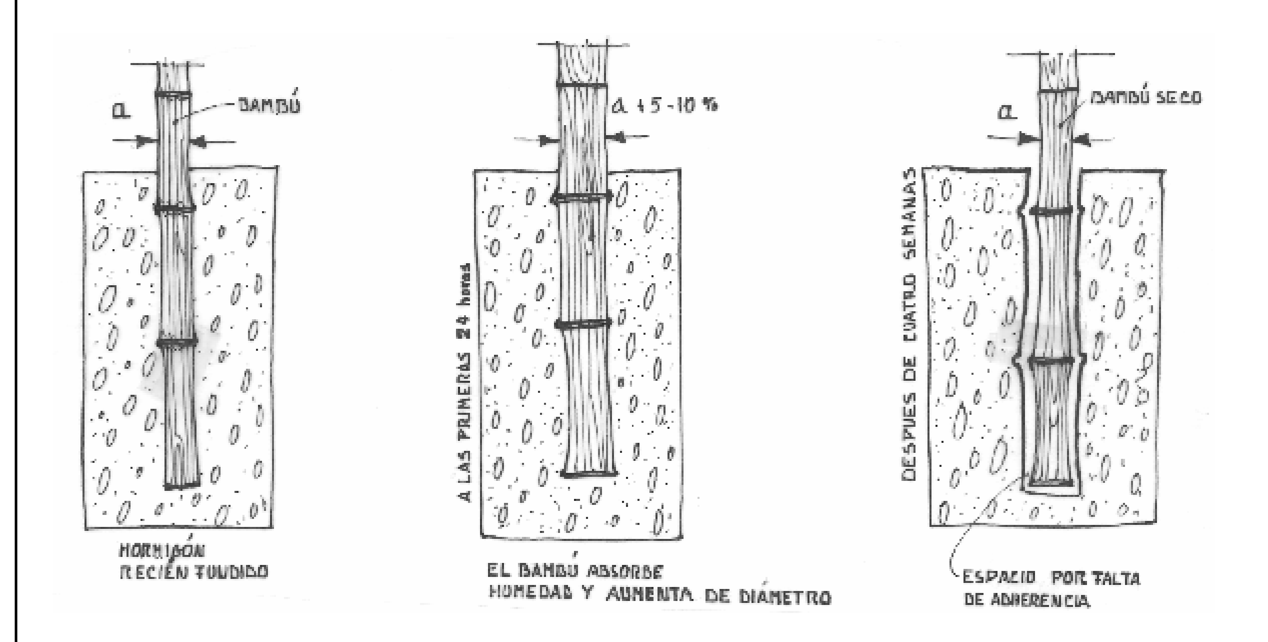
3.7 Materiales vegetales. Los materiales vegetales de la lista anterior se pueden dividir en dos grupos principales:

a) bambú, madera de palmera y nervadura principal de la palma, para utilizarse en forma entera o recortada;

b) hojas de abacá, banano, sisal y agave, etc., que necesitan de elaboración para obtener las fibras, que siempre son muy delgadas en relación a los productos mencionados en a).

El bambú y la madera de palmera tienen la aptitud de absorber mucha humedad, y es así como el bambú puede aumentar sus dimensiones de un 4 a un 12% del estado seco al húmedo.

Por esta razón, cuando el bambú se utiliza como refuerzo del hormigón sin ningún tratamiento especial, se pierde la adherencia entre estos dos materiales, como se explica en los siguientes gráficos:



La superficie del bambú es lisa, y cuando el espesor de los nudos no es más grande que la parte entre los nudos, tendría poquísima adherencia.

3.8 Preservación. Un tratamiento de las varillas o tiras de bambú (palmera) para evitar la absorción consiste en la inmersión en un líquido, como:

a) 50% de aceite de petróleo (Fuel Oil) + 50% de creosota;
b) barniz (Flatting Varnish 601) utilizado para pisos, que da una superficie transparente y dura;

c) pintura bitumen para soplete (35% R 115/15), o para brocha (65% tolueno + trementina);
d) pintura bitumen para brocha (46% bitumen H 80/90 + 54% nafta);
e) epoxy pintura (ciba epoxy);
f) bitumen sólido (200/250).

Estos tratamientos de la superficie tienen la doble ventaja de preservar el material vegetal contra la posible putrefacción y, por otro lado, evitar que el material vegetal absorba el agua de mezcla del hormigón. De los líquidos mencionados anteriormente, la mezcla de aceite de petróleo y creosota es la más barata, pero el barniz es el más efectivo contra la absorción de agua.

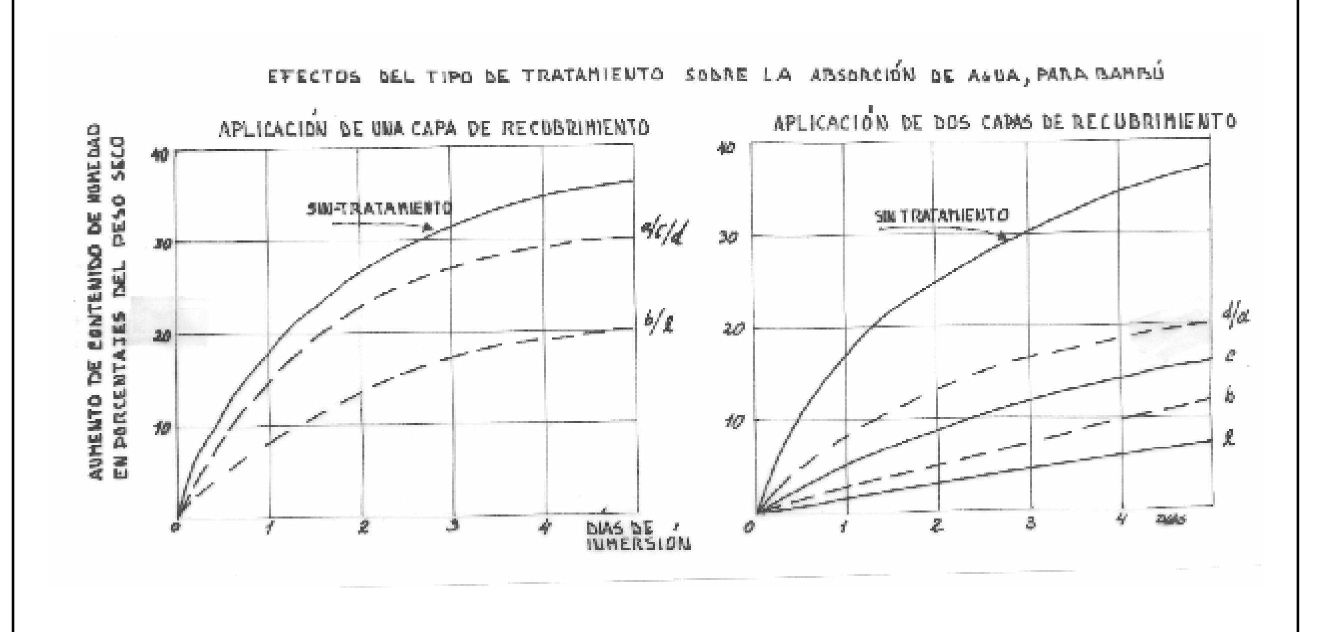
La pintura bituminosa es mucho más parecida al aceite de petróleo.

El epoxy también proporciona excelentes resultados, en cuanto a la disminución de absorción de humedad para las tiras.

Las dos pinturas bituminosas y la epoxy son muy eficaces contra la absorción de agua. Para el mejoramiento de la adherencia entre el hormigón y el material, se recomienda la aplicación de arena gruesa antes de que la pintura esté seca. Las pinturas que secan rápidamente son difíciles de aplicar a fibras finas, porque hay el riesgo de que formen una maraña.

El bitumen crudo sólido también es un buen tratamiento contra la absorción de humedad, pero el espesor relativamente grueso del material bituminoso implica un tipo de lubricación, que da como resultado una falta considerable de adherencia. Además, el bitumen sólido se debe aplicar en estado caliente (200°).

Las siguientes figuras indican el efecto que produce un tratamiento sobre la absorción de agua para piezas o tiras de bambú.



En la siguiente tabla se dan valores comparativos de adherencia, obtenidos al reforzar el hormigón con bambú sometido a varios tratamientos;

Cemento Portland común kg/cm^2	Tratamiento	Resistencia del hormigón kg/cm^2	Resistencia de adhe rencia kg/cm^2
250	ninguno	160	5-6
250	a-c-d	160	8-9
250	b-c	160	11-12
350	ninguno	230	7-8
350	a-c-d	230	9-10
350	b-e	230	12-13
350	0	230	1-2

Observaciones respecto al cuadro:

- el hormigón tenía 28 días de fraguado;
- la cantidad de cemento es por m^3 de hormigón mezclado;
- la resistencia de adherencia es la fuerza total dividida por la superficie en contacto con el hormigón;
- en caso de que se aplique un cemento con fraguado rápido, los valores de adherencia y de resistencia del hormigón tienen un promedio de 10% más altos;
- las pruebas se hacen con tiras lisas de bambú (sin los nudos); cuando se mantienen los nudos de las tiras, se pueden aumentar los valores de adherencia, aproximadamente, en 30% para los valores bajos y 20% para los valores altos;
- en el diseño de construcciones se recomienda tomar un coeficiente de seguridad de 2,5; es decir, se divide al máximo valor de adherencia para 2,5.

3.9 Tipo de aplicación. Las tiras de bambú, palmera, etc. (categoría párrafo 3.7 a) se pueden aplicar como sustitución directa de los hierros de refuerzo, en la misma forma.

Las fibras vegetales que son flexibles y más cortas pueden mezclarse al azar con el cemento o servir para cuerdas, que se colocan en las juntas horizontales de la mampostería.

Las fibras sintéticas pueden tener grandes longitudes y también colocarse en las juntas horizontales entre las filas de los bloques.

3.10 Porcentaje óptimo. Para cada tipo de material existe un porcentaje óptimo, así como existe una cuantía óptima de acero en el hormigón.

Una de las diferencias entre el hierro y los materiales vegetales consiste en que los materiales vegetales tienen menores resistencias a la tracción, lo cual implica la aplicación de porcentajes más grandes con relación al hormigón o al cemento. Como la mampostería, en general, está hecha también de un material menos resistente a la compresión, la distribución del material vegetal de tensión es más homogénea.

El segundo aspecto importante de los materiales vegetales, así como de algunos materiales plásticos, es que ofrecen mayor elasticidad que el acero. La mampostería también tiene mayor elasticidad que el hormigón e igualmente las armaduras deben tener un módulo de elasticidad mayor, para asegurar una mejor colaboración entre los materiales que trabajan en tensión y compresión.

La elasticidad de las construcciones de mampostería reforzada con materiales vegetales o sintéticos resulta ventajosa, en relación con la absorción de los esfuerzos producidos en los movimientos sísmicos.

CAPITULO 4.

POSICION Y FUNCIONAMIENTO DE REFUERZO

4.1 Introducción. En este capítulo se dan algunos ejemplos de mampostería reforzada, que corresponden a investigaciones hechas en otros países.

El comportamiento de estas paredes depende de:

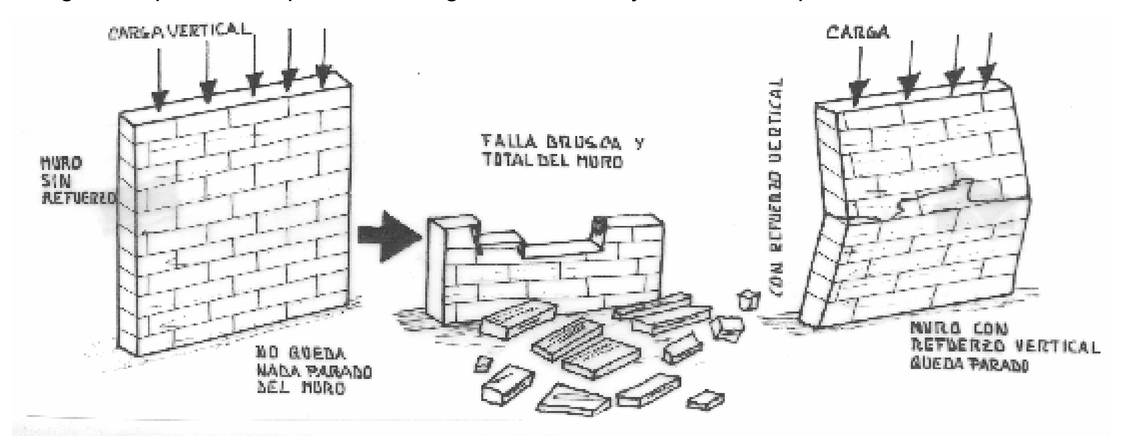
a) la calidad de los ladrillos, bloques, adobes, etc.,
b) la calidad de la mezcla cemento-arena de las juntas,
c) la posición y cantidad de refuerzo,
d) los tamaños de las partes de mampostería sin refuerzo y el espesor de las paredes,
e) las dimensiones de los muros o tabiques entre los elementos de arriostramiento.

4.2 Resistencia direccional. Debe señalarse que, en general, la mampostería trabaja en la dirección de su plano y no tiene resistencia en su dirección transversal para grandes cargas exteriores. Estas cargas deben ser resistidas por otras paredes transversales.

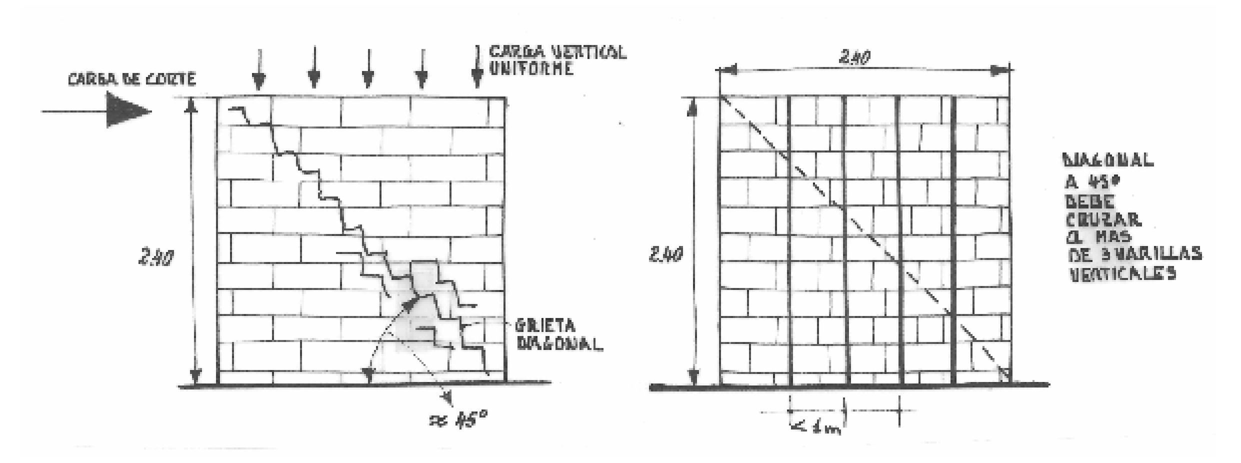
El refuerzo que tienen las paredes resiste las cargas transversales, que se expresan como una fracción de su peso propio (en caso de un sismo), y también las cargas de impacto transversal.

4.3 Efecto del refuerzo vertical. Según los análisis hechos en Guatemala (bibliografía No. 7), se ha constatado que:

a) la resistencia del muro a la carga vertical no aumenta mucho con la colocación del refuerzo, que tiene gran importancia, por cuanto rigidiza al muro y evita el desplome del mismo.



b) la resistencia a la carga de corte, de muros de 2,20 a 2,40 m de altura (un piso), casi no aumenta cuando se ponen varillas de refuerzo vertical espaciadas a distancias de 1,50 m o más; la distancia entre los refuerzos verticales debe ser inferior a 1 m.

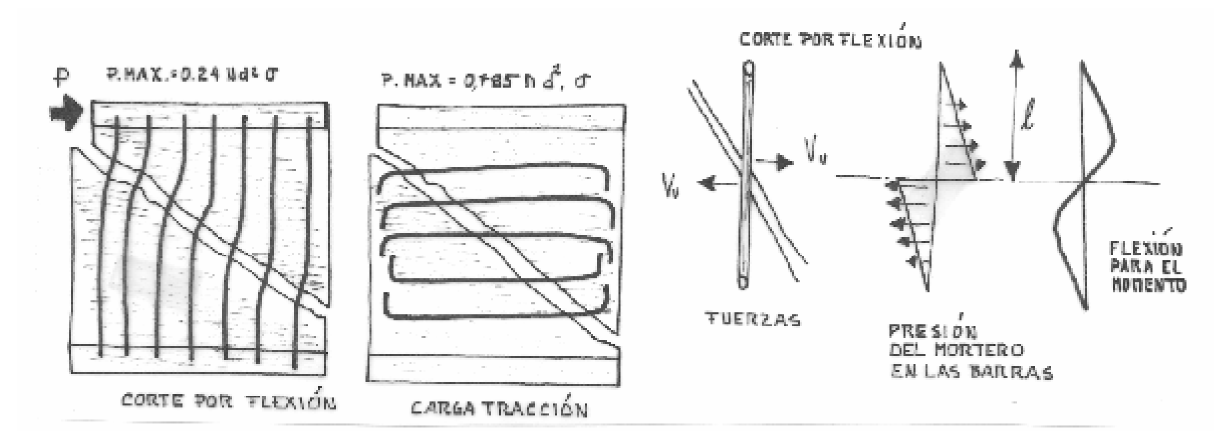


En el refuerzo con varillas verticales se recomienda colocar más varillas de menor diámetro, para lograr una mejor distribución del refuerzo.

c) la resistencia del muro contra la carga de impacto transversal y al centro de la pared aumenta cuando se utiliza refuerzo de varillas verticales espaciadas a distancias inferiores de 1 m.

4.4 Relación refuerzo vertical versus horizontal. A base de análisis, los Ings. Priestley y Bridemann demostraron que el acero de refuerzo horizontal es tres veces más efectivo que el vertical para resistir el esfuerzo de corte a través de la grieta diagonal.

La razón es que las varillas verticales están sujetas a flexión sobre una corta distancia y las varillas horizontales están sujetas a tensión sobre toda la sección.



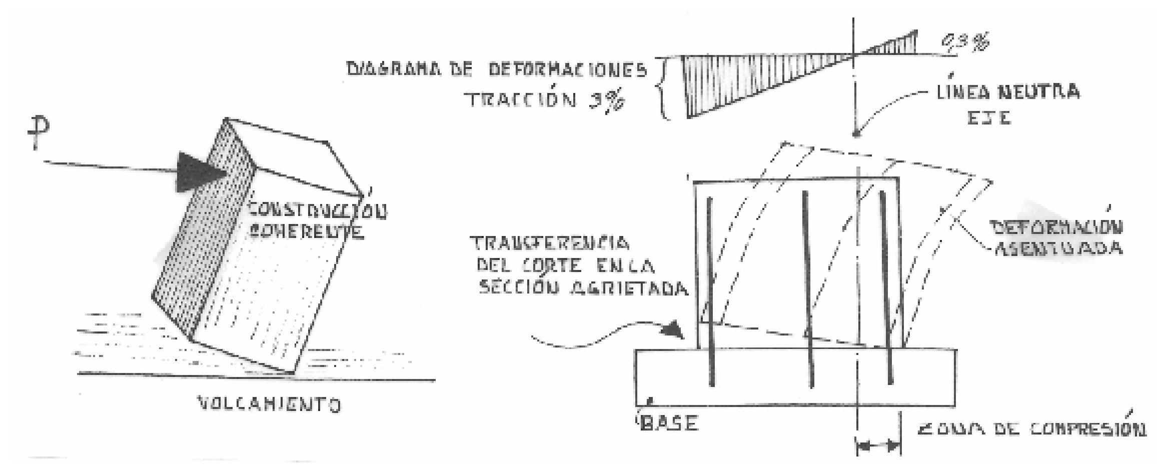
P	=	fuerza lateral total.
n	=	número de varillas.
d	=	diámetro de la varilla.
σ	=	resistencia a la tracción del material de refuerzo.

El problema del refuerzo horizontal es la falta de adherencia. En las partes extremas de la grieta diagonal la varilla vertical se queda trabajando, pero, para la varilla horizontal, falta suficiente adherencia.

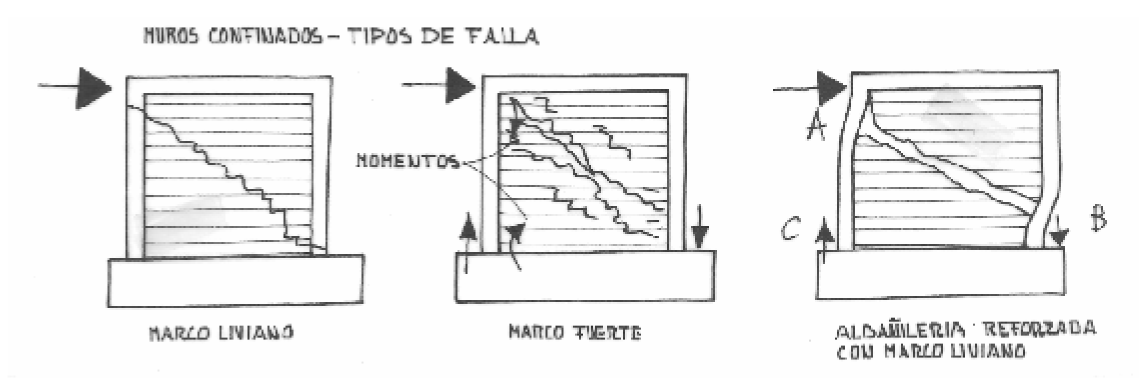
4.5 Volcamiento. Otra consideración es el aspecto de volcamiento de muros o construcciones que no tienen cargas verticales grandes. Este volcamiento ocurre también en construcciones relativamente esbeltas en altura.

Cuando el muro tiene suficiente coherencia en sí mismo, se produce una grieta horizontal en la base.

Esta falta de adherencia entre el muro y la base se produce, a la vez, por fricción en la zona comprimida y por flexión local en las barras verticales que cruzan la grieta.



4.6 Muros confinados. Cuando el muro tiene un confinamiento, las vigas verticales alrededor de este muro estarían cargadas, según la combinación explicada en los párrafos 4.4 y 4.5, que gráficamente se muestra en los tres tipos de fallas de muro sobrecargado siguientes:



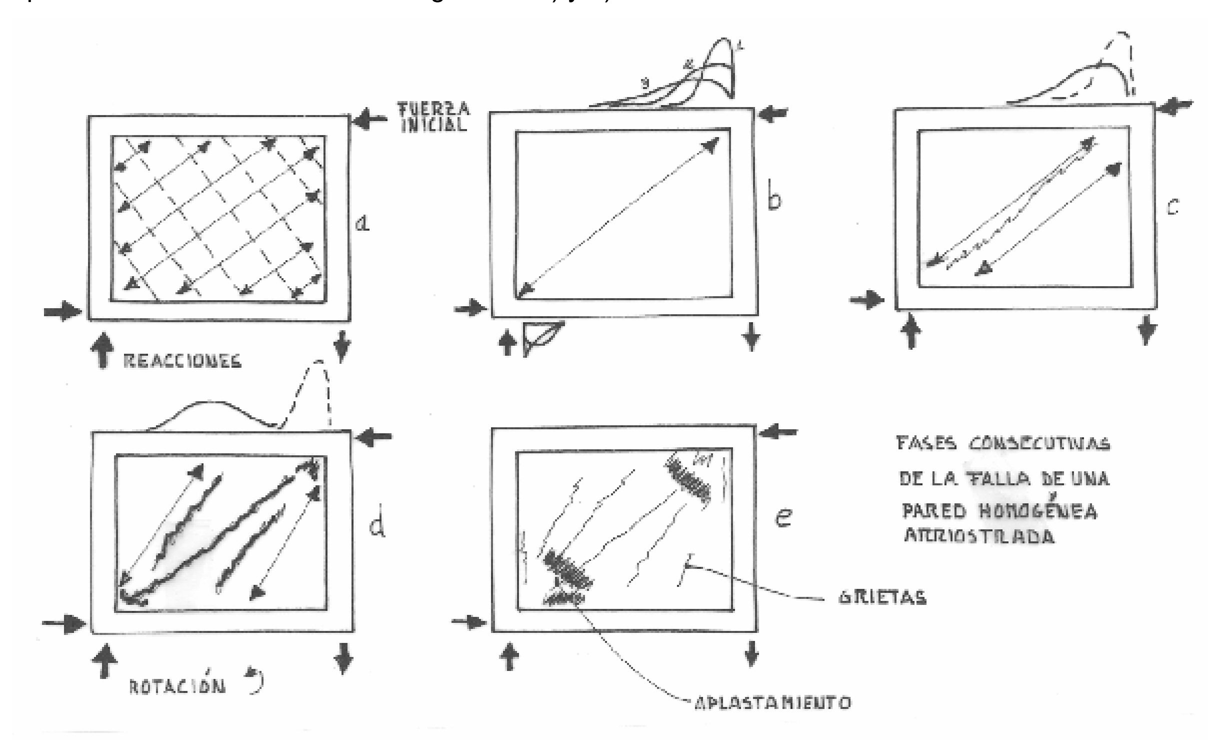
En el tercer caso el confinamiento funciona como una viga sobre la que hay momentos alternados directamente sobrepuestos. En caso de que haya una varilla de refuerzo dentro de esta viga (columna), esta varilla trabaja únicamente en flexión en la parte A y B, y en tensión en la parte C.

En el dibujo anterior, en la mitad vemos dos momentos, uno en la parte inferior y otro en la parte superior, en otra dirección.

4.7 Continuidad de funcionamiento. Para muros con refuerzo vertical y horizontal, las construcciones siguen funcionando cuando el muro tiene grietas; contrariamente, el muro sin refuerzo cargado con fuerzas de corte sufre un colapso completo y abrupto.

Por razón de flujo plástico y la redistribución de las fuerzas en el área post-elástica, el muro continúa resistiendo juntamente con otros elementos estructurales, aunque el mismo tiene fallas estructurales grandes. Por esta razón, la resistencia experimental puede ser un 20 a 30% más alta que la calculada teóricamente.

4.8 Comportamiento bajo carga. El comportamiento real de una pared arriostrada es más complejo que el de una sencilla diagonal. Cuando antes de aplicar la carga, la pared llena bien el espacio entre las vigas de arriostramiento y el funcionamiento de la pared bajo carga es aproximadamente como indica la figura 4.8 a) y b).

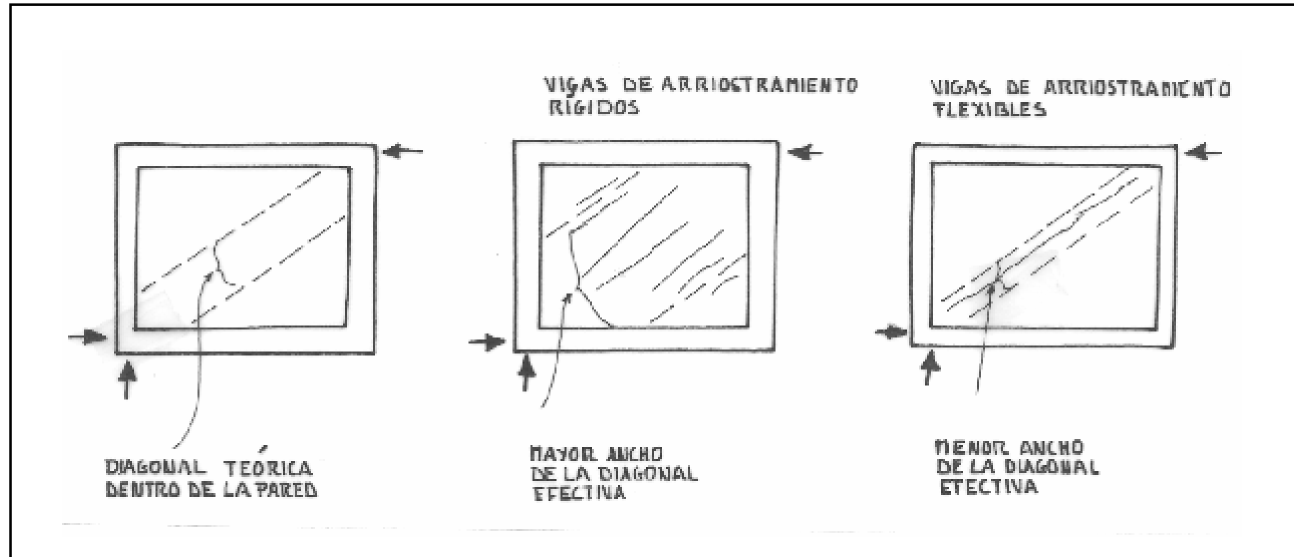


Con el incremento de la carga se puede notar la presencia de grietas paralelas a la diagonal y el aplastamiento inicial en las esquinas cargadas. Con la deformación de la viga de arriostramiento, la línea del momento se deformará según los dibujos b), c) y d).

Por lo tanto, la fuerza diagonal en el interior de la pared tiende a rotar en la dirección de las fuerzas exteriores, lo cual hace que los arriostramientos verticales también empiecen a trabajar, esto es, a absorber fuerzas.

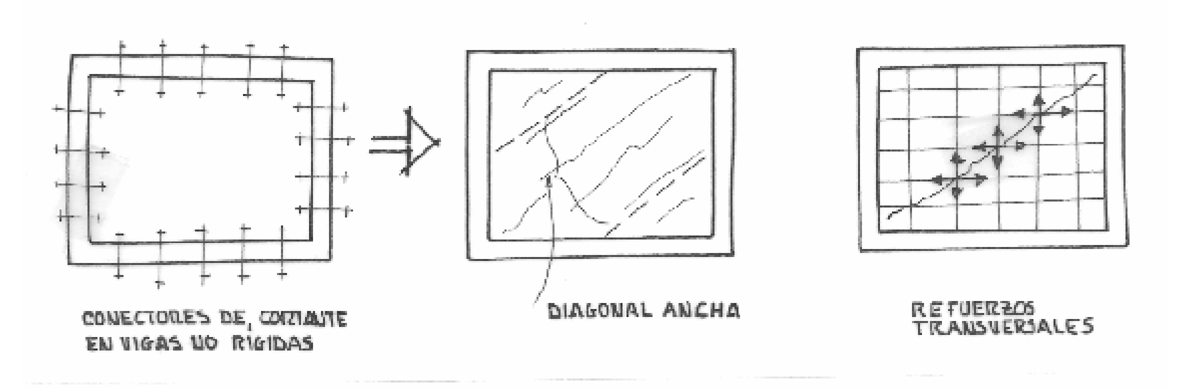
4.9 Aplastamiento parcial. El aplastamiento parcial del interior de la pared en sus esquinas implica una distribución de fuerzas sobre la región más ancha (diagonal).

El ancho efectivo de esta diagonal depende de la rigidez de las vigas de arriostramiento.



Mientras más rígidas son las vigas de arriostramiento, mayor es el ancho de la diagonal efectiva.

4.10 Conectores. Con la aplicación de conectores de cortante alrededor del perímetro del muro, entre la pared y la viga de arriostramiento, se tiene un efecto igual al que se produce cuando existen vigas rígidas.



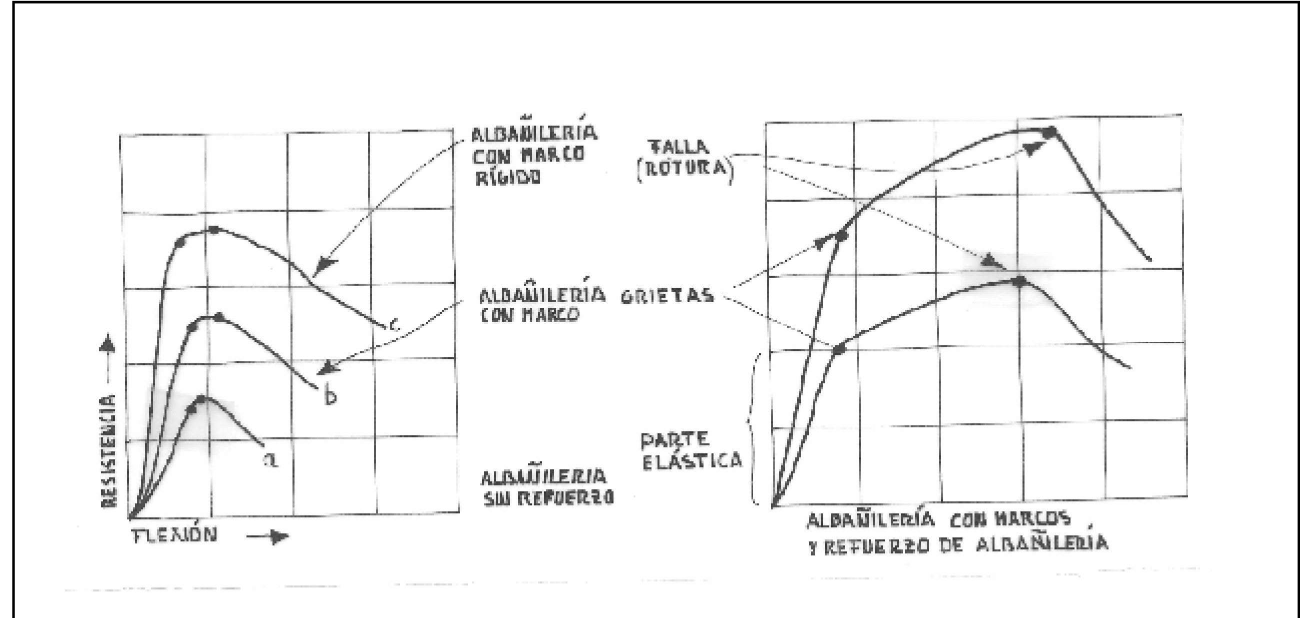
Los refuerzos horizontales y verticales tienen doble función:

a) funcionan como conectores de cortante,
b) distribuyen las fuerzas de la diagonal sobre todo el plano de la pared.

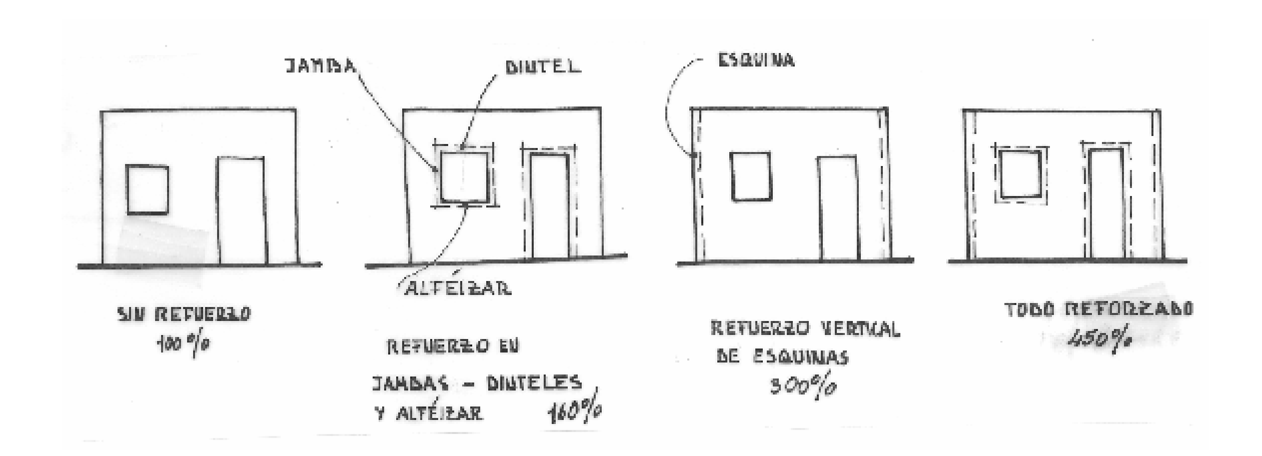
4.11 Agrietamiento. En las paredes construidas de bloques, ladrillos u otros elementos pequeños, los agrietamientos se forman en las juntas, y se forman más rápidamente cuando la calidad del mortero es inferior a la calidad de los bloques.

El punto de agrietamiento de una pared implica el límite de su última resistencia.

La falla de la mampostería no reforzada se produce poco después del agrietamiento, y en muchos casos, ésta es muy abrupta. En cambio, la mampostería reforzada continúa funcionando con una mayor deflexión después del agrietamiento inicial, la falla se produce más gradualmente y la resistencia se mantiene con una deflexión más grande que la estructura. Las siguientes gráficas dan una ilustración de este fenómeno en términos generalizados.



4.12 Efecto del arriostramiento. Puesto que es difícil predecir el comportamiento de muros reforzados en el área post-elástica, la mayoría de datos se obtienen a base de análisis reales. A base de una serie de análisis (9), se han determinado las diferencias del comportamiento de muros reforzados con confinamientos en varios lugares.



Los refuerzos verticales en las esquinas son mucho más efectivos y aumentan la resistencia considerablemente.

La diferencia entre los distintos casos con refuerzos verticales u horizontales se demuestra en la tabla siguiente, en la cual se toma como base de comparación la resistencia de una casa sin refuerzo.

1) casa sin refuerzo	100% = base de comparación
2) solamente con refuerzo de dintel	110%
3) con refuerzo de dintel y alféizar	120%

4) refuerzo vertical en jambas	130%
5) refuerzo vertical en jambas y dintel + alféizar	160%
6) refuerzo vertical en esquinas	300% - 100%
7) refuerzo vertical en esquinas y dintel + alféizar	325% - 110%
8) refuerzo vertical en esquinas y jambas	400% – 130%
9) refuerzo vertical en esquinas, jambas y dintel + alféizar	450% - 150%

La tabla demuestra que el refuerzo del dintel no es efectivo para aumentar la resistencia. Además, el refuerzo de jambas aumenta muy poco la resistencia del muro en relación con el refuerzo en las esquinas, pero evita la progresión de fallas diagonales, y con esto se aumenta la resistencia y coherencia de la estructura en su totalidad. Cuando hay un confinamiento alrededor de las aberturas, también se obtienen buenos resultados, debido a la mejor coherencia del muro.

CAPITULO 5.

TAMAÑOS DE MAMPOSTERIA

5.1 Introducción. Con una experiencia de centurias en la construcción, se han establecido espesores específicos para toda mampostería, que todavía se aplican en construcciones no reforzadas.

Con la introducción de materiales más resistentes a la flexión de materiales con características totalmente diferentes a las de los materiales tradicionales y de refuerzos para la mampostería, se hace necesario dar valores adecuados para los espesores y demás dimensiones de las paredes.

En los párrafos siguientes constan las recomendaciones sobre las dimensiones para varios tipos de paredes.

5.2 Medidas modulares. Las medidas deben ser modulares en el sistema de la coordinación modular con un *módulo* básico de M = 10 cm y un *multimódulo* de 3M = 30 cm.

Estas medidas modulares incluyen las juntas.

Las alturas de paredes interiores de edificios deben tener, de preferencia, 24M, y las alturas de piso a piso terminado, un multimódulo de 2M, es decir 26M, 28M, 30M, etc.

Según el Código de Hormigón Armado, la dimensión mínima para columnas constructivas soportantes es de 30 cm. Esto implica que columnas de hormigón con menos ancho o espesor no pueden ser columnas soportantes.

Por consiguiente, los pilares verticales incorporados en la mampostería no pueden trabajar como columnas, pero si pueden funcionar como arriostramientos de estas paredes.

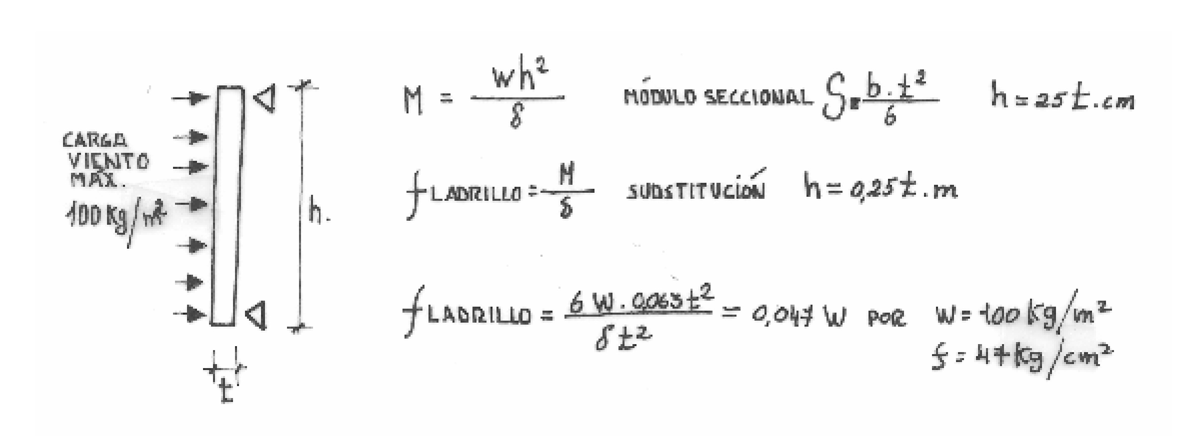
5.3 Espesores mínimos de paredes. Considerando el Código Uniforme de Construcción de E.U. (U.B.C.), se puede establecer los siguientes espesores mínimos para paredes de mampostería:

Estos valores son para paredes con igual ancho y altura.

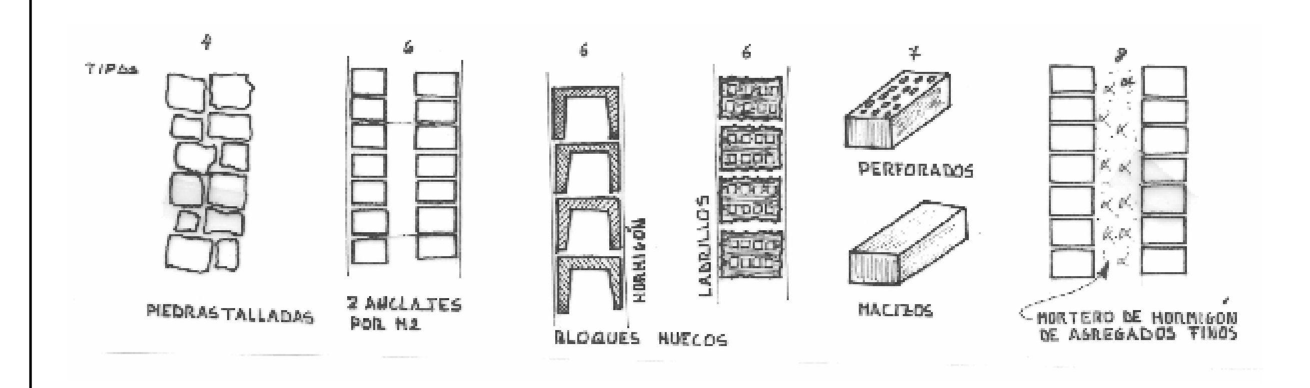
TIPO DE ALBAÑILERIA	Factor α= razón máxima entre la altura no soportada y el espesor.	ESPESOR MINIMO	RECOMENDACIONES Y MINIMA RESISTENCIA
Paredes soportantes			
1. Adobe	10	28 cm	máximo 2,40 m de altura f mín. = 2 kg/cm^2 o más
2. Adobe estabilizado	12	28 cm	máximo 2,40 m de altura f mín. = 10 kg/cm^2 o más
3. Adobe estabilizado reforzado	16	28 cm	máximo planta baja + 1 piso alto f mín. = 15 kg/cm^{2}o más estabilizado con 2% as-falto líquido RC 250.
4. Albañilería de piedras	14	18 cm	Piedras talladas rectas.
5. Mampostería de ladri-llo o bloques f' mín. = 30 kg/cm^2	16	18 cm	máximo planta baja + 1 piso alto - bloques arena cemento - ladrillos cal-arena - ladrillos suaves.
6. Mampostería aliviana-	18	18 cm	f mín. = 100 kg/cm^2 por lo menos 3 anclajes por m^2 máximo planta baja + 3 pisos.
7. Mampostería maciza	20	18 cm	f mín. = 100 kg/cm^2 máximo planta baja+ 3 pisos.

TIPO DE ALBANILERIA	Factor α = razón máxima entre la altura no soportada y el espesor.	ESPESOR MINIMO	RECOMENDACIONES Y MINIMA RESISTENCIA
8. Mampostería con mortero relleno. Albañilería tipo 6	20	14 cm	El mortero de relleno es un hormigón plástico con agregados finos.
9. Mampostería reforzada para construcciones exteriores con mortero de relleno. Albañilería tipo 6/7	25	14 cm	El refuerzo queda totalmente dentro del mortero de hormigón fino y cuando está aplicado en las juntas quedará 1,5 cm dentro de la cara de la pared.
10. Mampostería reforzada para construcciones interiores. Albañilería tipo 6/7	25	14 cm	Recubrimiento mínimo 1,5 cm para el refuerzo en las juntas
Paredes no soportantes o no constructivas			
11. Paredes exteriores no reforzadas.	20	5 cm	
12. Paredes exteriores reforzadas.	30	5 cm	
13. Tabiques interiores no reforzados.	36	5 cm	
14. Tabiques interiores reforzados.	48	5 cm	
15. Columnas. Mampostería reforzada	20		En ambas direcciones horizontales. Altura no soportada máx. 20 t (t= espesor de la columna).

La relación 25 para las categorías 8 y 9 se ha establecido para limitar la tensión en la junta de mortero hasta j = 5 kg/cm^2 , para una carga máxima W de viento de 100 kg/m^2 , lo cual es un valor muy alto para el Ecuador.

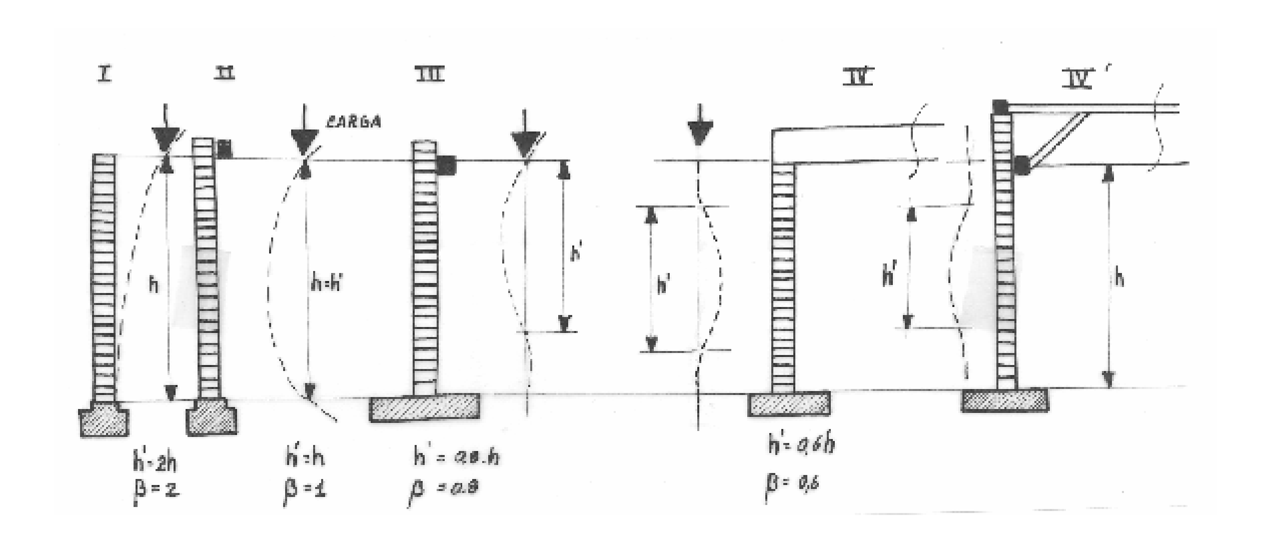


Es evidente que, cuando se trata de edificios muy altos o cuando se tiene una resistencia de bloques o ladrillos inferior a f mín = 30 kg/cm [2], deben hacerse cálculos específicos para el diseño de la pared.



5.4 Esbeltez de paredes. En la tabla de la Sección 5.3 se trata de todas las paredes, pero existe una diferencia entre la esbeltez de una y otra pared según la situación de arriostramiento.

Para calcular la resistencia y esbeltez de la pared para cargas en la dirección del plano de la pared, se puede aplicar los siguientes valores β:



La altura h' o el ancho 1' para el cálculo es βh o β1', respectivamente, para cargas horizontales en el plano de la pared.

Entonces: $\alpha = \frac{h'}{t}$, de donde : $h'\alpha t$, pero $h' = \beta h$, con lo cual tiene que : $\beta h = \alpha t$ y finalmente: $h = \frac{\alpha t}{\beta}$

Cuando tenemos la situación constructiva No. III y el tipo de pared No. 9 (sección 5.3), la altura máxima con espesor mínimo de 14 cm sería:

$$t.x = \frac{14 \text{ x } 25}{0{,}8 \text{ t}} = 437{,}5 \text{ cm}$$

Según el cálculo anterior, las cargas serían debidamente reducidas si se aumenta la esbeltez de la pared. Entre una pared no reforzada y una pared reforzada hay diferencias de reducciones, debido al efecto mencionado en el párrafo 4.3.

En la siguiente tabla se indica la diferencia entre una pared de mampostería normal y una pared de hormigón, comparable con una pared de mampostería reforzada.

Factor de reducción debido a la esbeltez para paredes con carga axial.

Relación de esbeltez $\frac{h}{t}$	**Factor de reducción**	
	Mampostería	**Pared de hormigón**
6 o menos	1,00	1,00
12	0,76	1,00
15	0,63	1,00
18	0,50	0,90
18	0,44	0,70

5.5 Rectangularidad de las paredes. El espesor mínimo de la pared depende también de la rectangularidad de la misma.

Para aproximar el espesor de una pared con altura h se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$t = \frac{h}{\alpha\beta.\gamma} \text{ ó}, t = \frac{1}{\alpha.\beta.\gamma}$$

donde:

h = altura de la pared.
l = ancho de la pared.
α = coeficiente definido en la Sección 5.3.
β = coeficiente definido en la Sección 5.4.
Υ = coeficiente que se define en la siguiente tabla:

CASO A	a = LADO CORTO; b = LADO LARGO; 4 LADOS SOSTENIDOS	$\frac{b}{a}$	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	>3
		γ	1,0	1,14	1,28	1,38	1,45	1,5	1,6	1,65
CASO B	a = LADO CORTO; b = LADO LARGO; 4 LADOS ARRIOSTRADOS	$\frac{b}{a}$	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	>3
		γ	0,96	1,07	1,14	1,18	1,22	1,27	1,33	1,36

Cuando uno o más de los lados no son arriostrados, se aplican siempre los valores del caso A.

Los coeficientes de esta tabla se establecen en base a los momentos más altos que se producen en losas uniformemente cargadas, lo cual sería equivalente a la carga de viento sobre la pared.

Una pared de tipo g (sección 5.3) con altura de 6 m y β = 1 con una razón $\frac{b}{a}$ = 1,6 en el caso A.

El t.mín. = $\frac{h}{\alpha.\beta.\gamma} = \frac{600}{(25)\,(1)\,(1{,}38)} = 17{,}4 \text{ cm}$

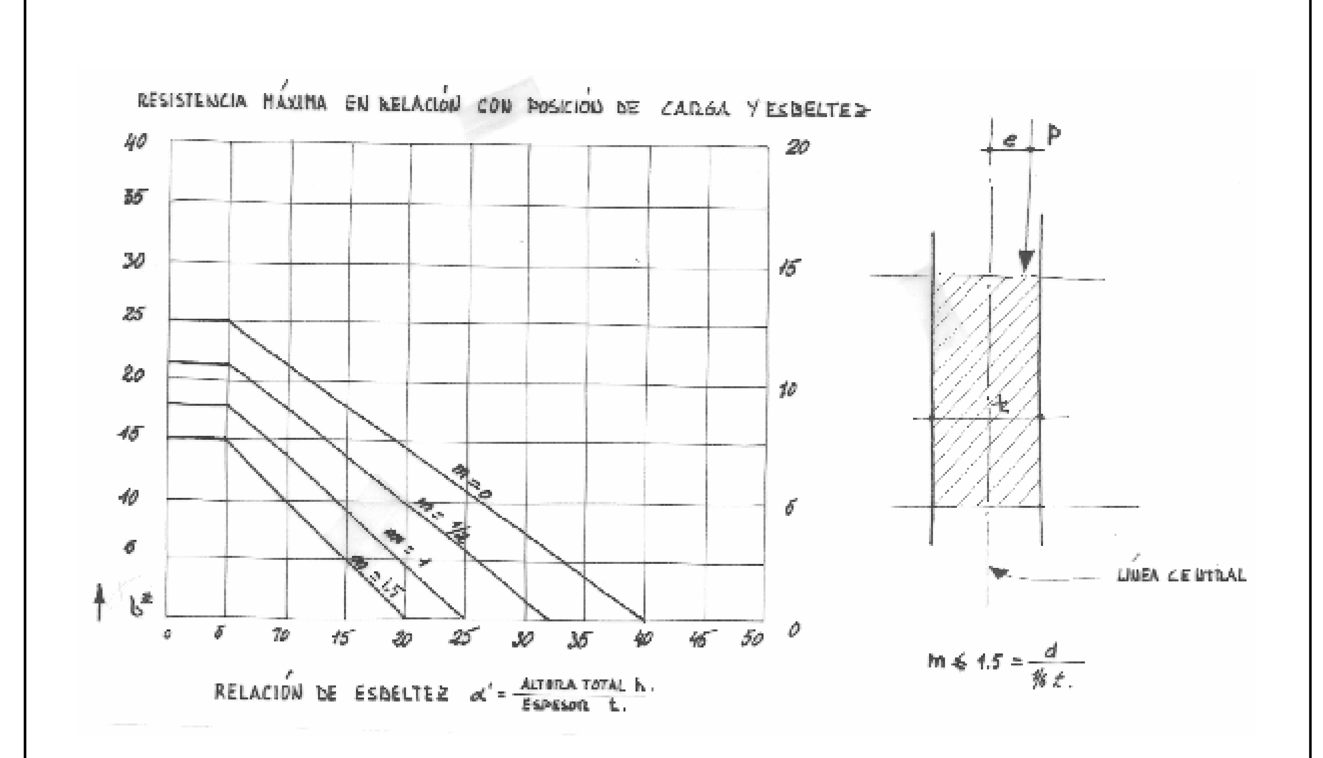
Para este caso el valor α calculado es: $\alpha = \frac{600}{17{,}4}$ = 34,5 que es mayor que el valor de 25 para apoyo libre.

5.6 Excentricidad de la carga. Otro aspecto que se debe tener en cuenta en el diseño de la pared es la posición de la carga, respeto a si es concéntrica o excéntrica. En el caso de cargas excéntricas, debe controlarse que la carga se aplique en el Núcleo de la Sección (zona en la cual una fuerza de compresión no produce esfuerzos de tensión), para lo cual se define la relación de excentricidad m según la siguiente expresión:

$$m = \frac{e}{1/6\,t}$$

Donde:

e = excentricidad de la carga
t = espesor de la pared



En este gráfico, la escala de resistencia σ_m puede varia. Para la esbeltez $\alpha' = \frac{h}{t}$ < 5 la excentricidad tiene menor importancia que la resistencia del bloque, ladrillo o el mortero de las juntas.

Utilizando esta teoría convencional, una excentricidad de $\frac{t}{b}$ reduce la resistencia de la pared hasta la mitad, comparándole con la carga axial.

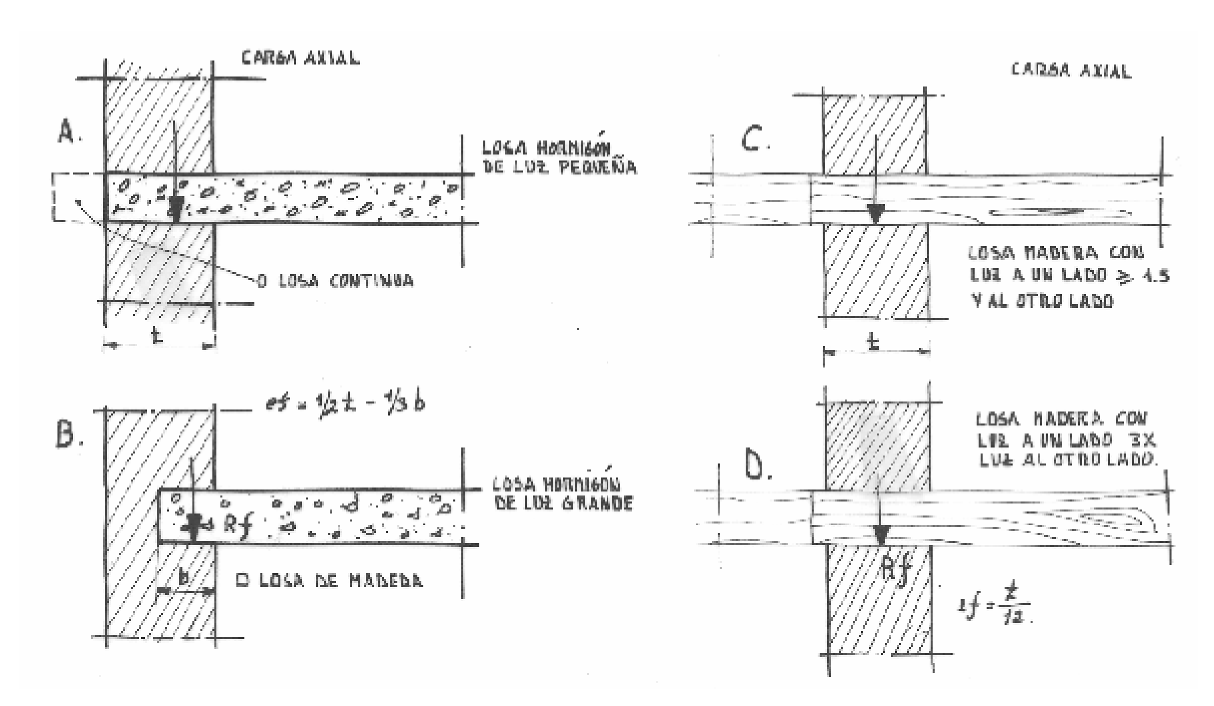
Cuando la fuerza de compresión no excede la fuerza de compresión máxima tolerable para la carga axial, y la carga es lineal, se puede reducir el espesor de la pared.

En la siguiente tabla, los factores de reducción de carga para excentricidades de t/4 y t/3 se han obtenido de un espesor de pared de 3/4 y 1/2 t, respectivamente.

Excentricidad de la carga vertical como parte del espesor de la pared.	Factor de reducción de carga según teoría convencional para miembros con relación de esbeltez de 6 y menor.	Factor de reducción para esbeltez y tipo de carga ex céntrico			
		Relación de esbeltez			
		6 y menos	12	18	24
Carga axial	1,00	1,00	0,76	0,50	0,44
1/24	0,80	1,00	0,75	0,48	0,42
1/6	0,50	0,63	0,45	0,26	0,21
1/4	0,38	0,46	0,32	0,17	0,12
1/3	0,25	0,31	0,20	0,09	0,06

Generalmente no se permite una excentricidad de 1/4 ó 1/3 de la carga, cuando no se puede asegurar una excelente ejecución y control de la obra, además de la regularidad de la construcción y la calidad de los materiales.

5.7 Situaciones de excentricidad. Los siguientes dibujos demuestran diferentes situaciones de excentricidad que pueden ocurrir en una construcción.



Cuando se tienen losas grandes, es decir, 30 veces el espesor de la pared, como también pisos de madera o losas ligeras, ocurren deflexiones grandes que producen cargas no axiales.

El desplazamiento de la línea de aplicación de la carga no es siempre bien definido, pero se puede suponer de 1/6 b para la mayoría de las juntas.

CAPITULO 6.

POSICION DEL REFUERZO

6.1 Introducción. El espesor mínimo de 14 cm, para una pared soportante, está relacionado con la posición del refuerzo.

Cuando se utiliza un tipo de refuerzo de acero oxidable, este acero debe estar colocado dentro de un hormigón con más de 200 kg de cemento por m^3, para evitar una corrosión del acero, considerando un recubrimiento mínimo de 1,0 cm ó de 1,5 d.

Un hormigón fino con 200 kg de cemento por m^3 tiene, a los 28 días, una resistencia de alrededor de 120 a 140 kg/cm^2, la cual es más que suficiente para las construcciones compuestas con ladrillos o bloques huecos, que en el Ecuador alcanzan valores máximos hasta de 100 kg/cm^2.

6.2 Tamaño de la grieta. A pesar de que no existe una clara evidencia experimental respecto a l ancho de la grieta, por la cual exista peligro de corrosión del acero, en la Sección 10.6.4 del C.E.C. II, se establece un valor tope máximo para la cantidad z, definida por la siguiente ecuación:

$$z = f_s \sqrt[3]{d_c . A.}$$

Donde:

z = cantidad que limita la distribución del acero de refuerzo por flexión, kg/cm.

fs esfuerzo en el acero de refuerzo, calculado para las cargas de servicio, kg/cm^2 .

d_c = espesor del recubrimiento de hormigón, medido desde la fibra más alejada en tensión al centro de la varilla más cercana a esa fibra.

A = área efectiva en tensión del hormigón que rodea a las varillas del refuerzo principal en tensión y que tiene el mismo centroide que dicho refuerzo, dividida entre el número de varillas, cm^2 .

Para condiciones de exposición exterior, el valor de z no debe exceder de 26 000 kg/cm, que corresponde a un ancho de grieta límite de 0,03 cm. Si se aplican otros materiales de refuerzo que no sean acero y se necesita un control del agrietamiento máximo, se puede establecer un cálculo aproximado, pero con un valor de z dado por:

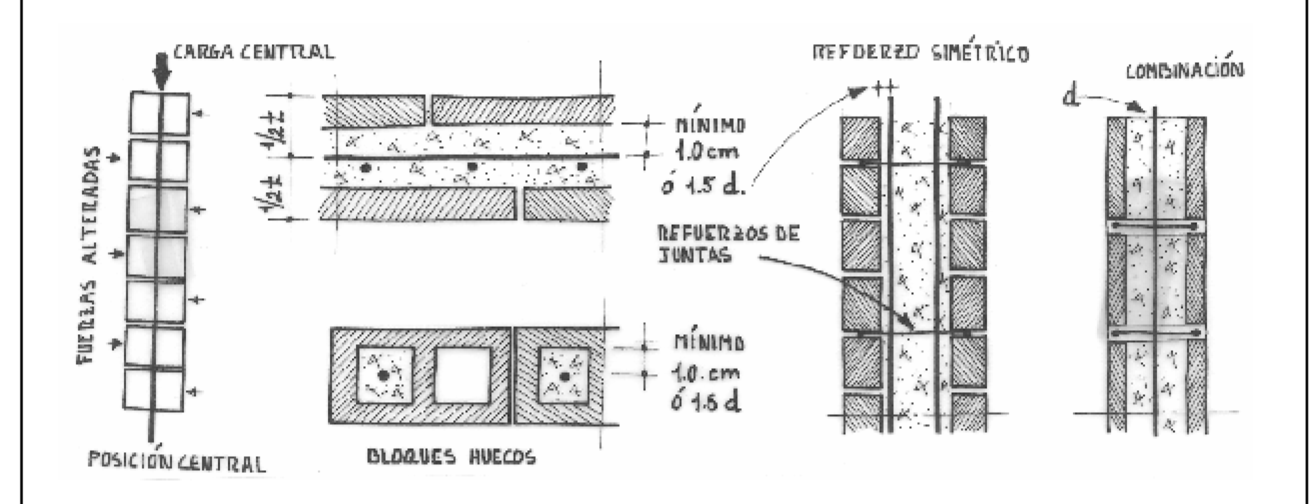
$$z = \frac{26000.E_x}{E_s}$$

Donde:

Es = modulo de elasticidad del acero

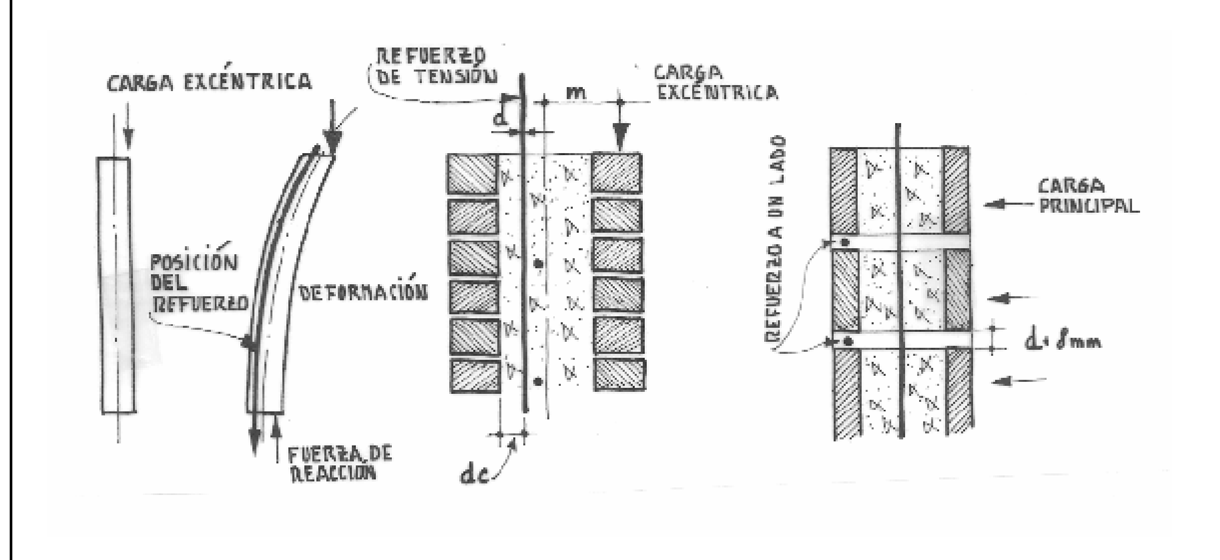
Ex = módulo de elasticidad del material utilizado como refuerzo

6.3 Cargas concéntricas. Para cargas concéntricas y para cargas alternadas de un lado de la pared hasta el otro lado de la misma, es conveniente dar una posición central al refuerzo de la pared.

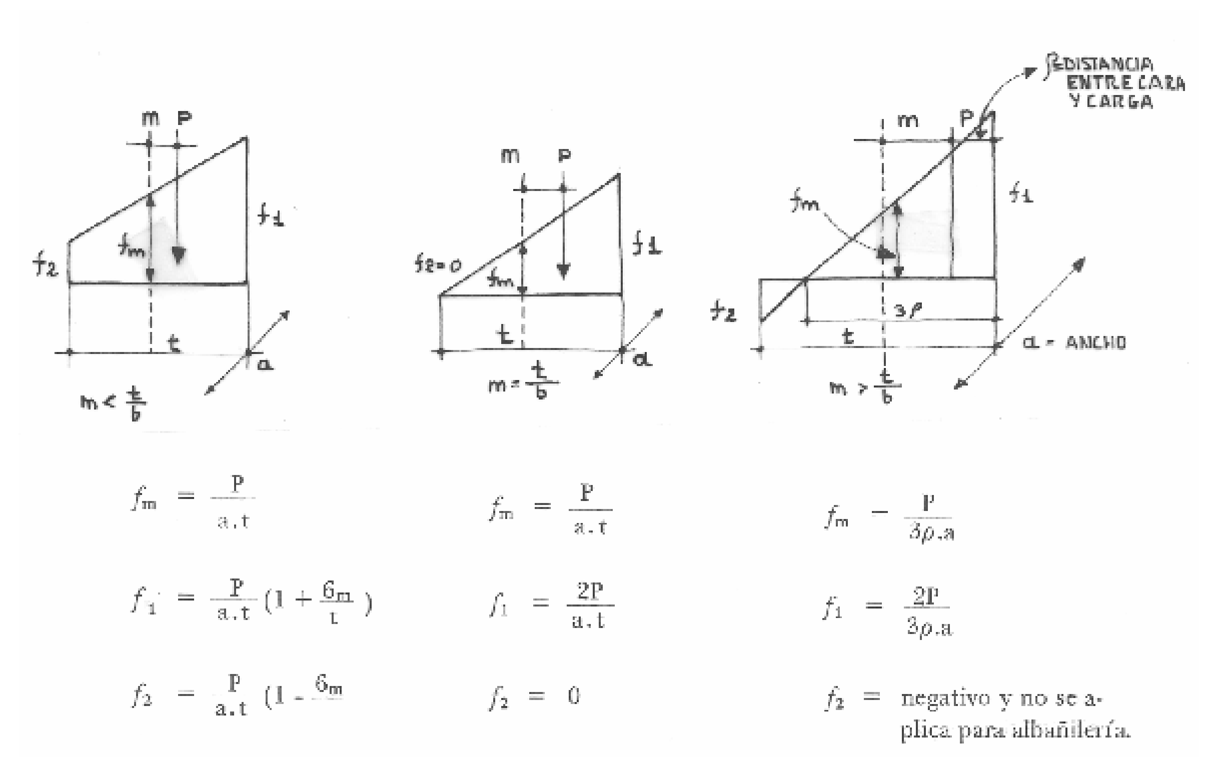


Especialmente con refuerzo de acero resulta a veces complicado colocar dos varillas delgadas en el mismo espacio, comparado con el trabajo de colocar 1 varilla de mayor diámetro.

6.4 Cargas verticales. Para cargas verticales grandes que son excéntricas, se recomienda también colocar la varilla en posición excéntrica.

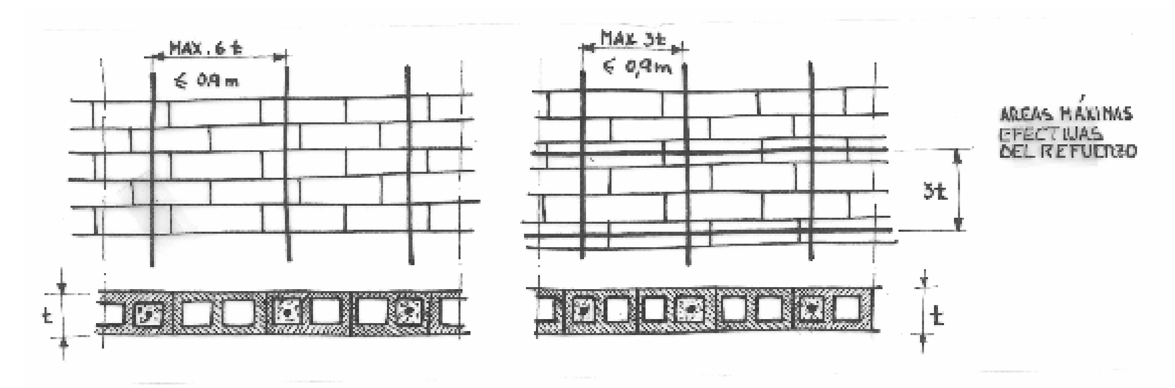


6.5 Tensiones. Las tensiones que aparecen en la mampostería cargada excéntricamente pueden calcularse a base de las siguientes ecuaciones:



6.6 Distancia mínima - máxima. Para el refuerzo vertical en paredes, se recomienda una distancia máxima entre las varillas de 6t para albañilería en trabazón y de 3t para albañilería apilada, pero siempre con un máximo de 90 cm.

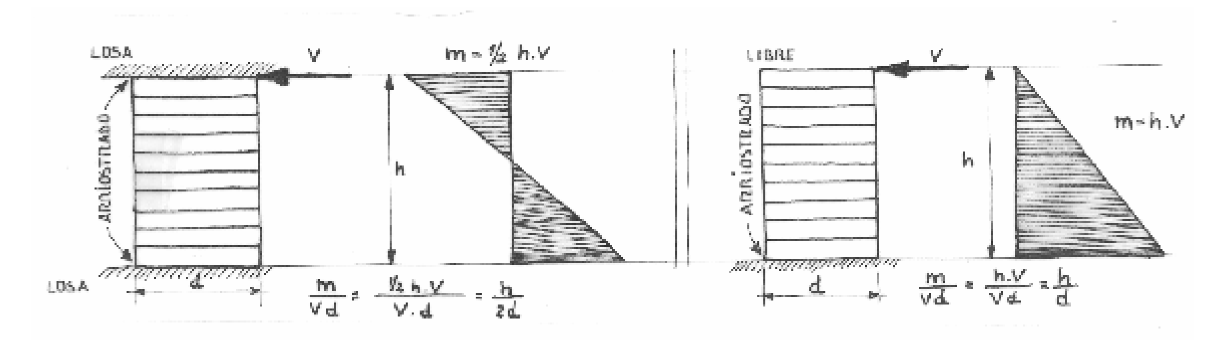
Cuando se toma la resistencia permisible a la fuerza de corte para el material de la pared como el 10% de la resistencia última del material, la siguiente tabla indica cuando se debe



Para las varillas horizontales se hace la misma recomendación, pero como en la mayoría de los casos no existe una trabazón horizontal, el espaciamiento máximo sería de 3t.

6.7. Refuerzo alrededor. La mampostería que no cumple con los requisitos indicados en la sección 6.6, pero que tiene refuerzos en la punta de los extremos se calcula como mampostería arriostrada o confinada. Las partes de la mampostería que cumplen con los requisitos de la Sección 6.6. pueden considerarse como planos homogéneos en el cálculo.

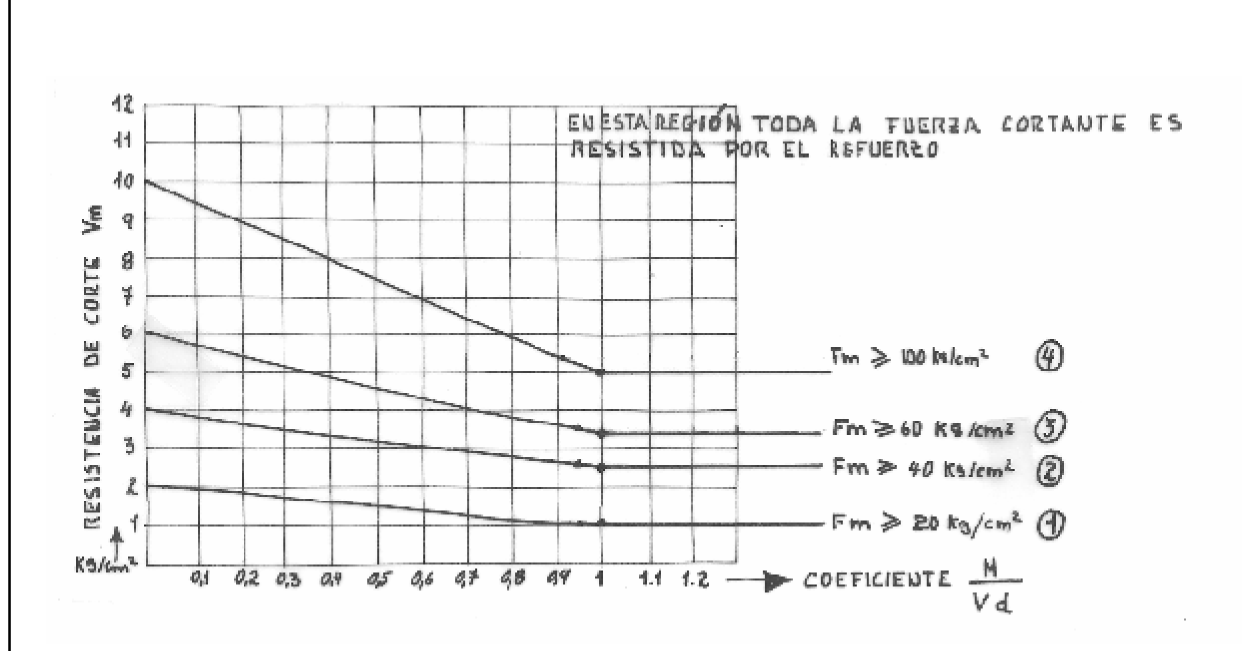
6.8. Paredes de corte. Para paredes de corte bajo la carga sísmica (V= ZKCW), se deben considerar las siguientes ecuaciones para los diferentes casos de arriostramientos:



Donde:

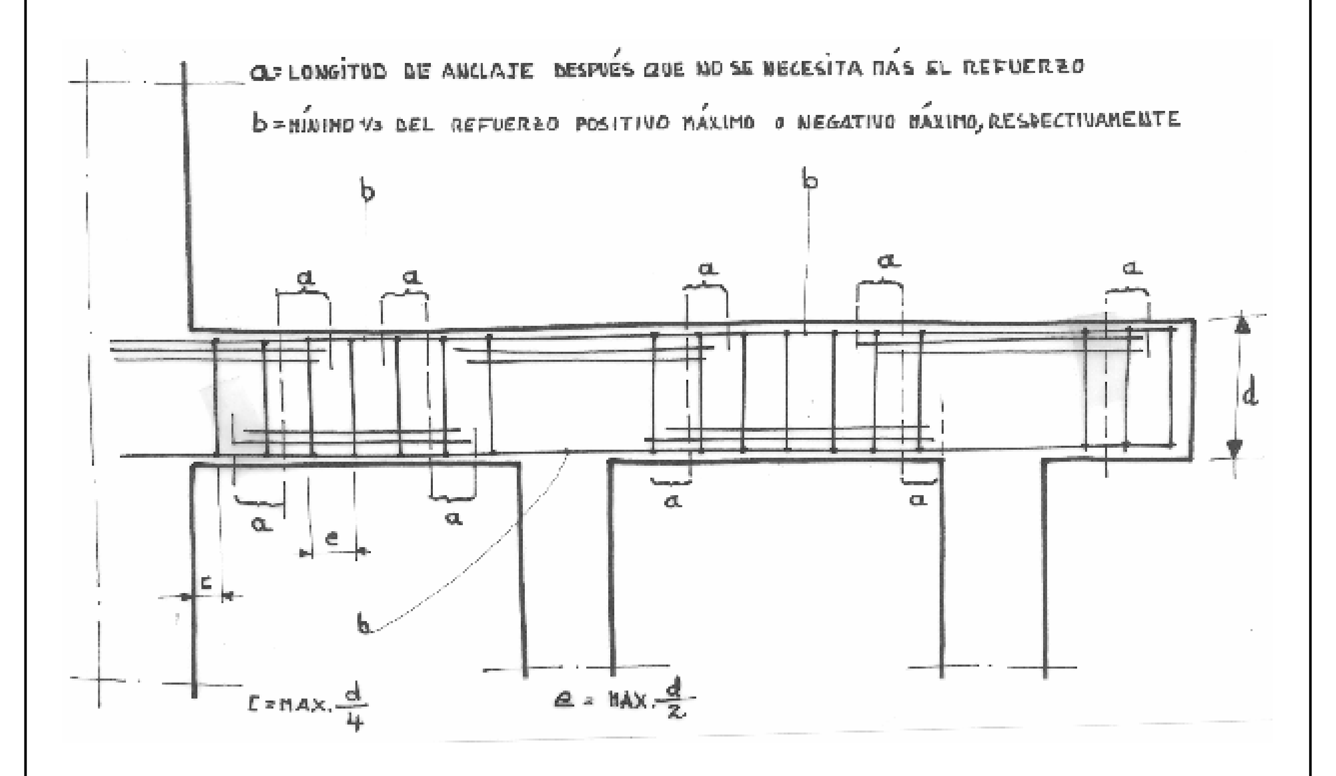
M = momento sobre pared, kg/cm.
V = fuerza de corte, kg.
d = longitud de la pared, cm.
h = altura de la pared, cm.

Cuando se toma la resistencia permisible a la fuerza de corte para el material de la pared como el 10% de la resistencia última del material, la siguiente tabla indica cuando se debe aplicar refuerzo para las varias relaciones $\frac{M}{V.d}$. Cuando la resistencia está arriba de las líneas respectivas indicadas, toda fuerza de corte debe ser tomada por el refuerzo.

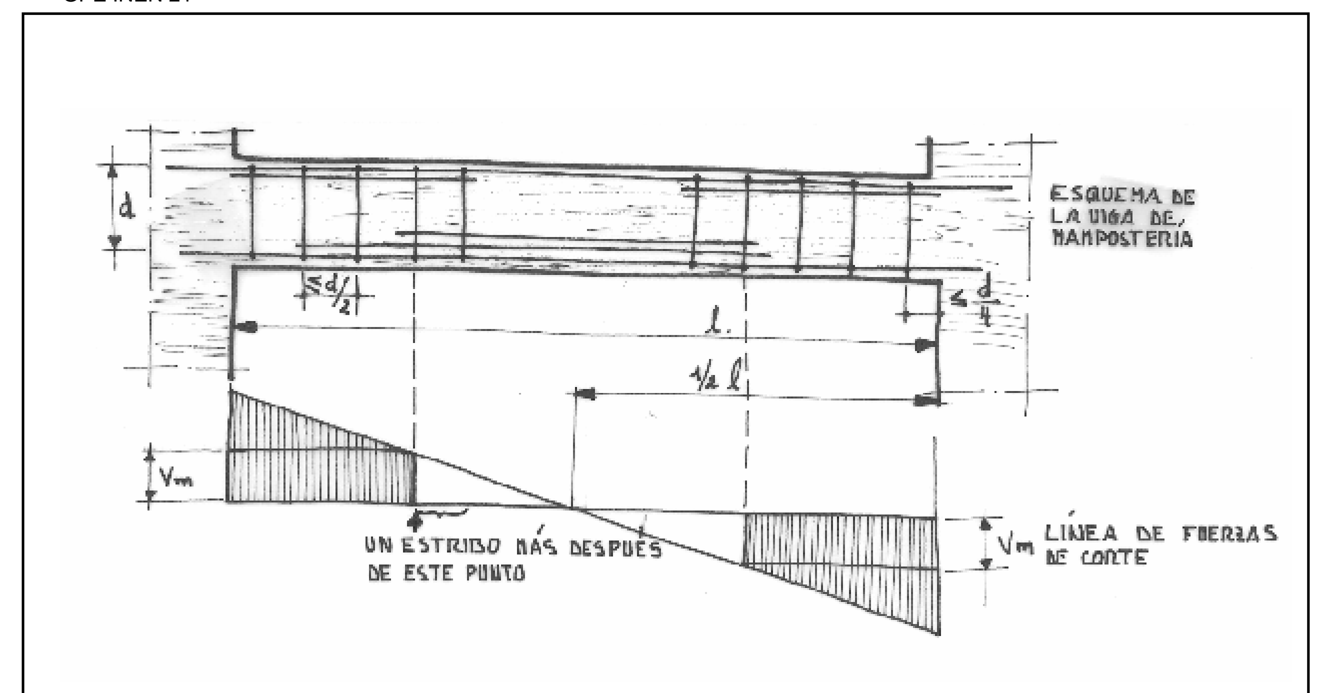


6.9 Dinteles. Cuando se trata de la mampostería que esté sobre las aberturas, en las posiciones de los dinteles, la colocación del refuerzo debe hacerse de igual forma que en las vigas de hormigón armado.

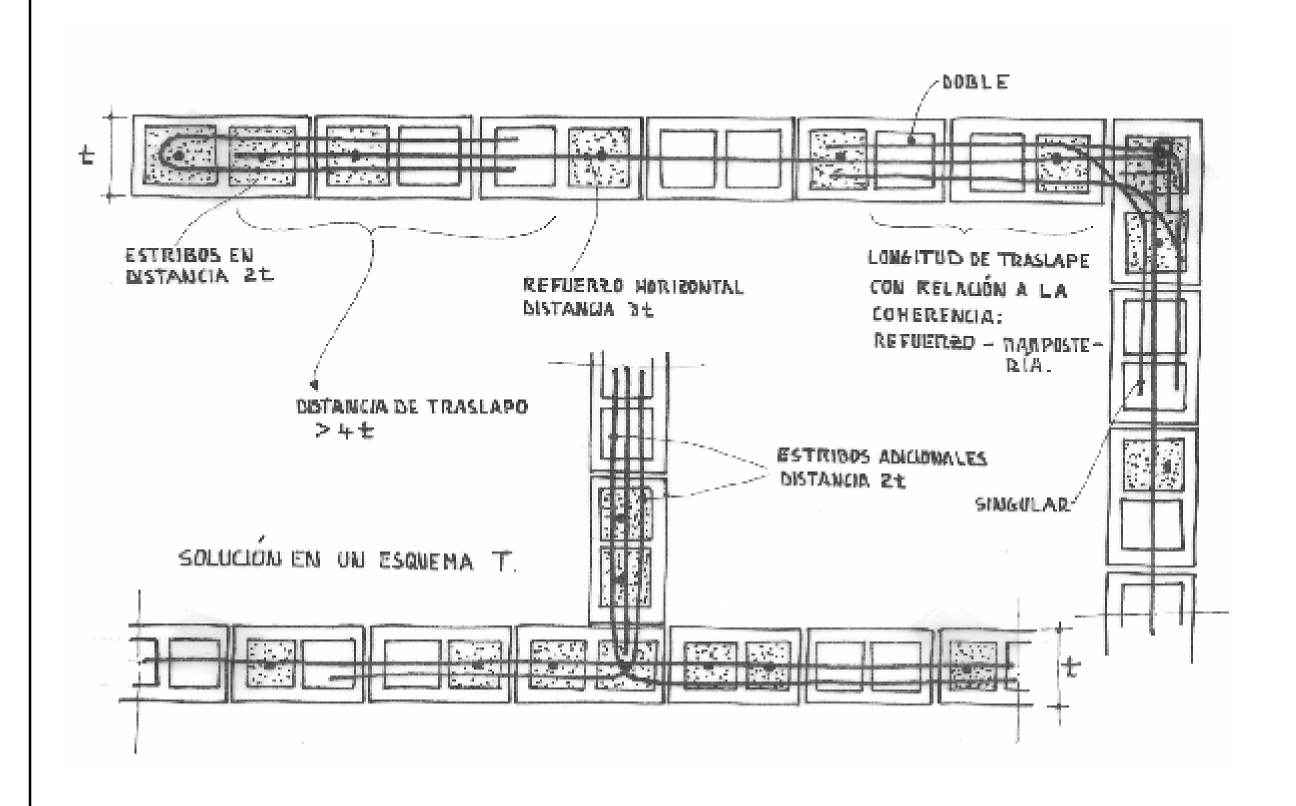
El siguiente dibujo da las indicaciones necesarias para la posición del refuerzo.



Para la colocación de estribos verticales se especifica que se debe colocar un estribo más, después del punto en que no se necesitan estribos, porque la fuerza de corte es inferior a la que se indica en la tabla de la Sección 6.8.

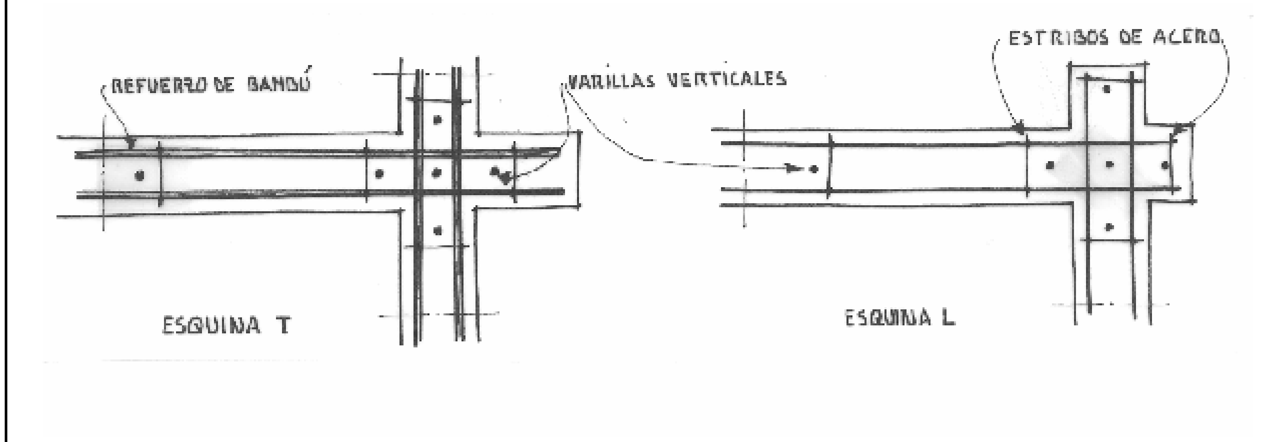


6.10 Eslabonamiento. En el plano horizontal también es importante que exista suficiente eslabonamiento entre las varias partes estructurales.



Para las cadenas y columnas de hormigón que sirven de confinamiento a la mampostería se aplican los mismos tipos de refuerzos adicionales para las esquinas L y T

Cuando el material de refuerzo no se puede doblar, como el bambú, se puede continuarla pared para formar una cruz, dentro de la cual se cruzan las varillas

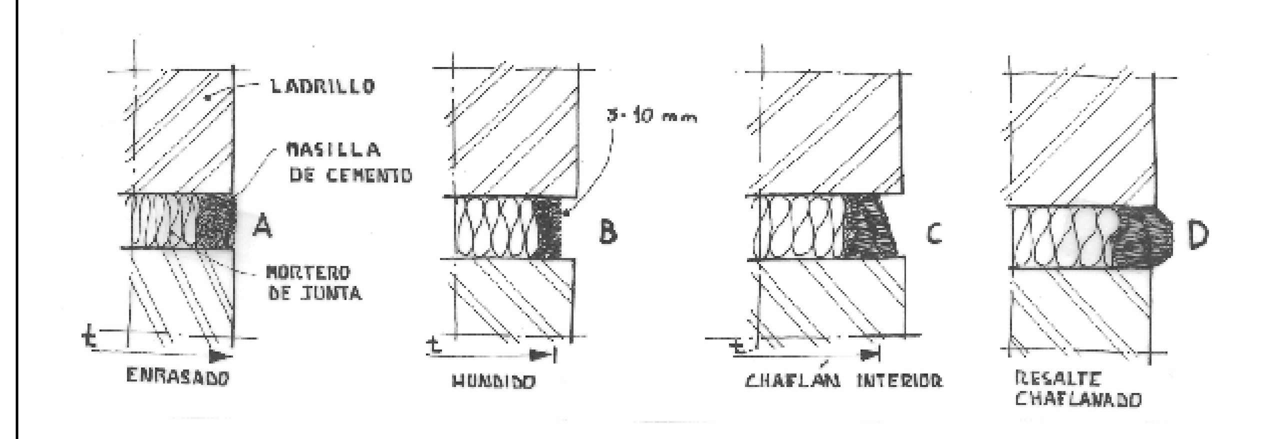


CAPITULO 7

ALBAÑILERIA

7.1 Tipos de juntas. Para la mampostería soportante, es esencial la forma de la junta entre los elementos.

Para unir los bloques o ladrillos, se pueden distinguir los 4 tipos de acabados siguientes:



A. Esta junta es la apropiada para cualquier mampostería que debe trabajar en compresión por efectos de momentos u otras cargas.

Una mejor aplicación en apariencia se obtiene cuando se utiliza un ladrillo con lados rectos.

Cuando la cara de la pared está sucia, existe la posibilidad de enlechar con cemento y un cepillo toda la cara de la pared.

B. Para esta junta, el ancho (t) de la pared se ve reducido con la profundidad de las juntas.

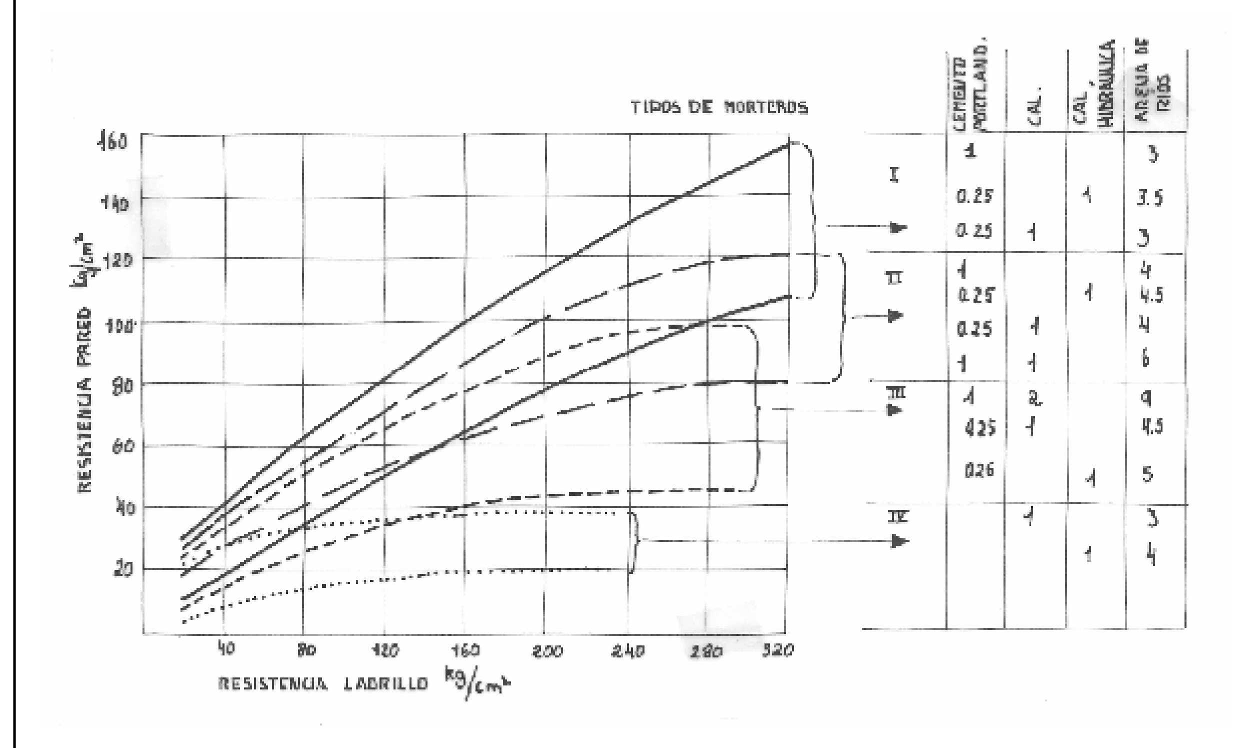
Se aplica esta junta cuando el ladrillo o bloque es irregular para lograr algún efecto en apariencia.

C. Esta junta se emplea para producir el efecto de una línea horizontal a la pared por influencia del sol y la sombra. El ancho (t), así mismo, se ve reducido.

D. En esta junta, el ancho (t) es todo el ancho de la pared: se aplica esta junta para bloques y ladrillos irregulares y para albañilería de piedras talladas. Es un trabajo muy laborioso, pero que da como resultado una muy buena apariencia.

7.2 Resistencia. La resistencia al aplastamiento de la junta debe ser mayor que la resistencia del bloque o ladrillo, pero no tiene sentido de que sea mucho mayor.

La relación entre la resistencia de la pared, la resistencia del ladrillo y el tipo de mortero se indica en el siguiente gráfico.



	CEMENTO PORTLAND.	CAL.	CAL. HIDRAULICA	ARENA DE RIOS
I	1			3
	0.25		1	3.5
	0.25	1		3
II	1			4
	0.25		1	4.5
	0.25	1		4
	1	1		6
III	1	2		9
	0.25	1		4.5
	0.26		1	5
IV		1		3
			1	4

Cuando los acabados de las juntas no se hacen al mismo tiempo, se recomienda utilizar una clase superior de mortero, como las indicadas en la tabla.

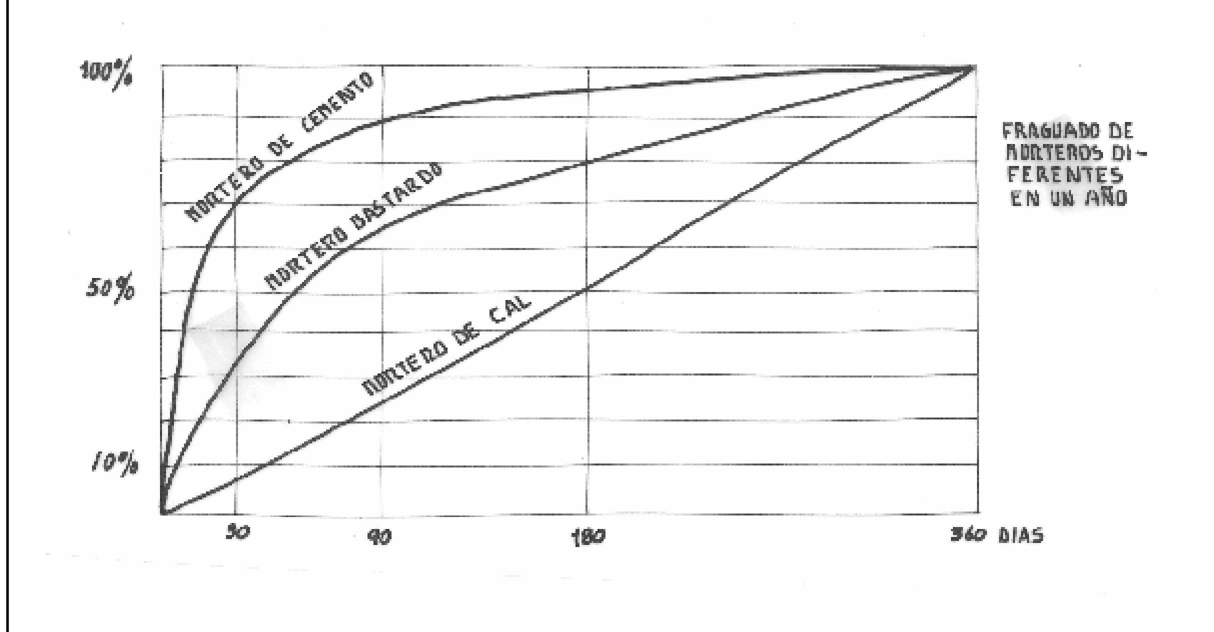
En general, se recomienda la utilización del mortero II.

El mortero I se utiliza para columnas y albañilería resistentes al agua.

7.3 Módulo de elasticidad. La aplicación de cal y cal hidráulica en el mortero de albañilería da como resultado que el conjunto de la mampostería tiene una mayor elasticidad, debido al menor módulo de elasticidad de los morteros de cal, lo cual es ventajoso para hacer construcciones de más elasticidad.

a) hormigón	E	=	210 000 kg/cm^2
b) mortero de cemento	E	=	100 000 kg/cm^2
c) mortero de cemento-cal	E	=	80 000 kg/cm^2
	E	=	65 000 kg/cm^2
d) mortero de cal-cemento	E	=	30 000 kg/cm^2
e) mortero de cal	E	=	20 000 kg/cm^2
	E	=	15 000 kg/cm^2

Una desventaja de la utilización de cal en el mortero consiste en que el fraguado de la cal es más lento. Únicamente para construcciones que deban ser directamente cargadas hasta su resistencia máxima se recomienda utilizar un alto porcentaje de cemento en el mortero.



7.4 Característica de morteros. Depende de la función de la pared y su posición en la edificación como soportante y no soportante; paredes que están con influencia de humedad o sin ésta, como para el interior o exterior, etc.

Se deben aplicar diferentes tipos de morteros.

Tanto el mortero de las juntas como su espesor determinan la elasticidad o flexibilidad de la construcción.

La siguiente tabla indica las resistencias de los morteros y sus principales características.

Medidas volumétricas	Tipo mortero de	Cemento, cal, arena	Cemento de albañilería	Cemento, Arena y plastificante
Alta resistencia y poca adaptación al movimiento.	1	1; 0-1/4; 3	--	--
Variaciones graduales entre el tipo 1 y 5	2 3 4	1; 1/2, 4-4 $^1/_2$ 1; 1; 5-6 1;2; 8-9	1; 2 $^1/_2$ -3 $^1/_2$ 1; 4-5 1; 5 $^1/_2$ -6 $^1/_2$	1; 3-4 1; 5-6 1; 7-8
Poca resistencia y alta aptitud a adopción al movimiento lento causado por contracción, asentamiento, etc.	5	1; 3; 10-12	1; 6 $^1/_2$ -7	1,8
La resistencia al aplastamiento de cada tipo de mortero es igual		alta coherencia y resistente a absorción de agua.	Variación gradual entre los dos tipos.	Alta resistencia contra congelamiento (incorporación de aire).

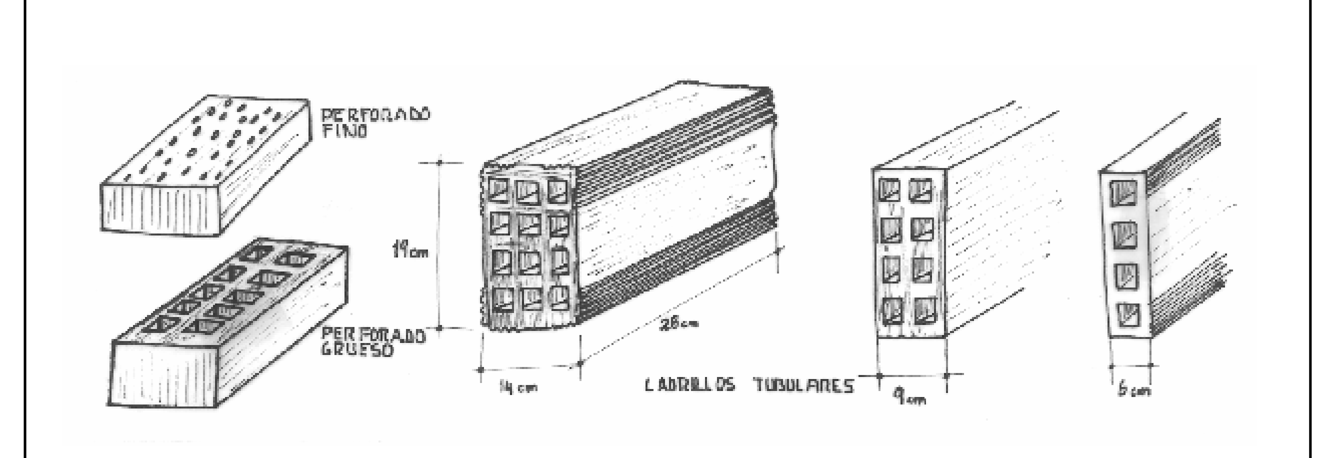
En cuanto se indica una posible variación en la cantidad de arena, se puede utilizar el valor alto para arenas con una buena granulometría dividida. La cantidad pequeña siempre se debe utilizar cuando la arena tiene uniformidad de granulometría o alto contenido de finos. En el Ecuador se debe tomar este valor pequeño.

Cemento de albañilería es un cemento Portland con un aditivo mineral muy fino e incorporado de aire.

Las buenas cualidades de trabajabilidad se producen mediante la adición de estos dos componentes adicionales. Para el uso de cementos de albañilería se deben seguir las especificaciones del fabricante.

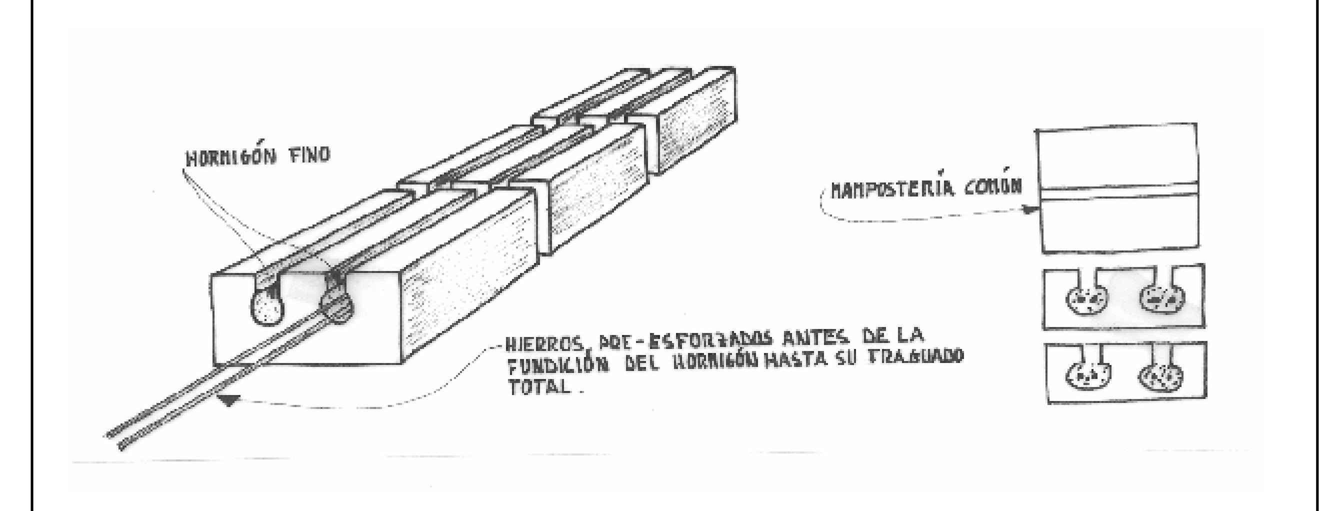
7.5 Tipos de ladrillos. Los diversos tipos de materiales también tienen un comportamiento diferente en la mampostería.

Esta diferencia está considerada en la tabla 5.3 y en el factor α. En esta tabla se considera que el ladrillo perforado en la dirección corta se comporta como un ladrillo macizo y este comportamiento es definitivamente mejor que el de un ladrillo tubular.

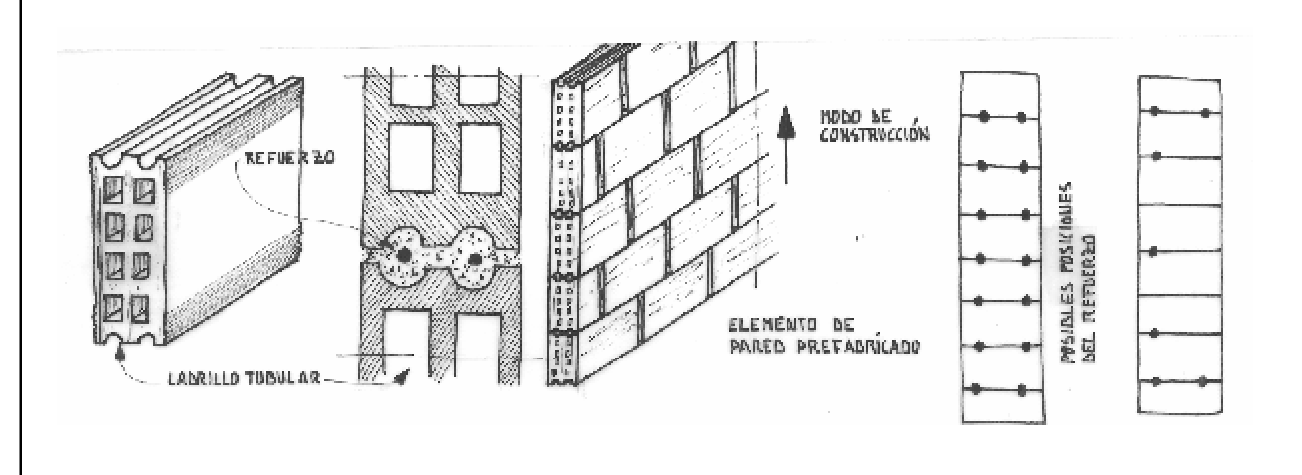


En el cálculo se considera únicamente la sección neta del ladrillo. Por consiguiente, el ladrillo tubular de 14 cm de ancho es más resistente que el de 9 cm, por cuanto el núcleo central casi no funciona para resistir momentos perpendiculares en la pared.

A base de ladrillos tubulares especiales y resistentes se pueden hacer vigas prefabricadas y pretensadas (sistema Stalton), las cuales tienen el refuerzo incorporado.



Con los bloques tubulares normales, pero adaptados, se pueden realizar elementos de mampostería prefabricada. Estos elementos se fabrican según el método de albañilería vertical, pero se pueden colocar después del fraguado con el refuerzo vertical



Los ladrillos perforados son de dos tipos principales. La perforación de estos ladrillos tiene como objeto:

a) proporcionar más densidad al ladrillo,
b) menos peso al ladrillo,
c) formar huecos para aislamiento,
d) evitar el agrietamiento durante el secado.

Ambos tipos tienen mejor comportamiento que los ladrillos tubulares y el ladrillo con grandes perforaciones puede utilizarse para la colocación de varillas de refuerzo vertical.

La combinación de ladrillos tubulares y ladrillos perforados ofrece la posibilidad de colocar refuerzo en las direcciones horizontales y verticales.

7.6 Bloques huecos. Los bloques huecos de hormigón, en general, tienen mejores características que los ladrillos y están clasificados en la categoría No. 6 de la Sección 5.3. En cambio, los bloques huecos de hormigón ligero, pómez, etc., deben estar en el grupo 5.

La aplicación de los bloques huecos es igual a la de los ladrillos perforados y tubulares. Además, se realizan aplicaciones de estos bloques según el método de utilización en seco, es decir, sin junta de mortero.

CAPITULO 8.

RECOMENDACIONES GENERALES

8.1 Posición.

8.1.1 Los arriostramientos alrededor de las paredes son más funcionales, cuando tienen un buen eslabonamiento con las paredes interiores por medio de varillas o refuerzos continuos.

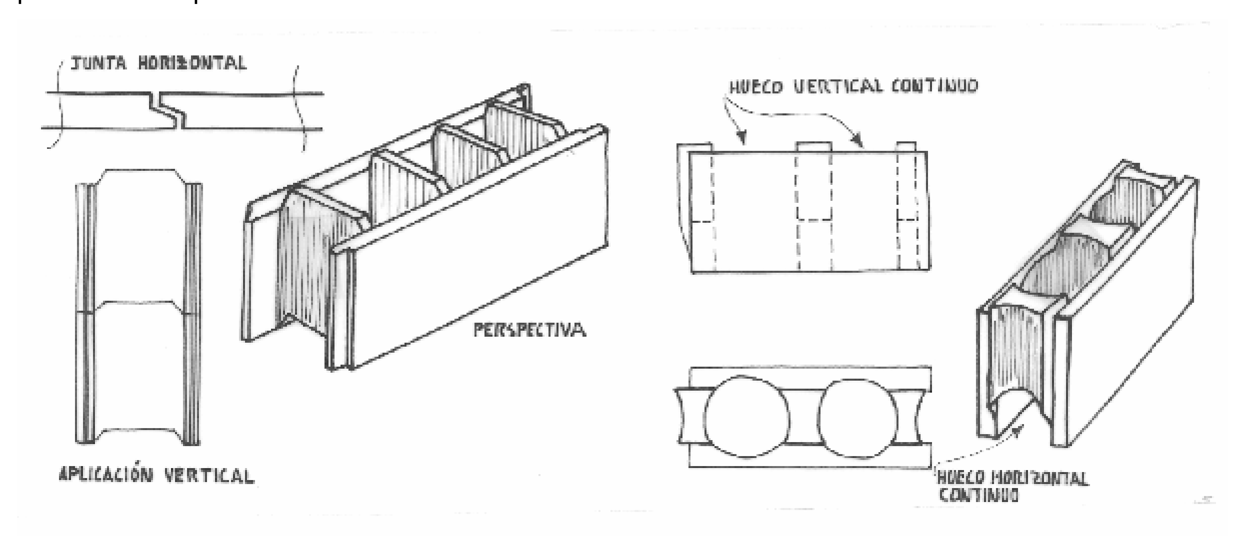
8.1.2 El refuerzo de la mampostería por medio de refuerzos en las juntas horizontales y verticales evita un colapso brusco bajo carga última y asegura una resistencia última más alta.

8.1.3 Los refuerzos en la totalidad de la mampostería son esenciales, cuando existen cargas o fuerzas perpendiculares sobre la pared, adicionales a las fuerzas originadas por sismos.

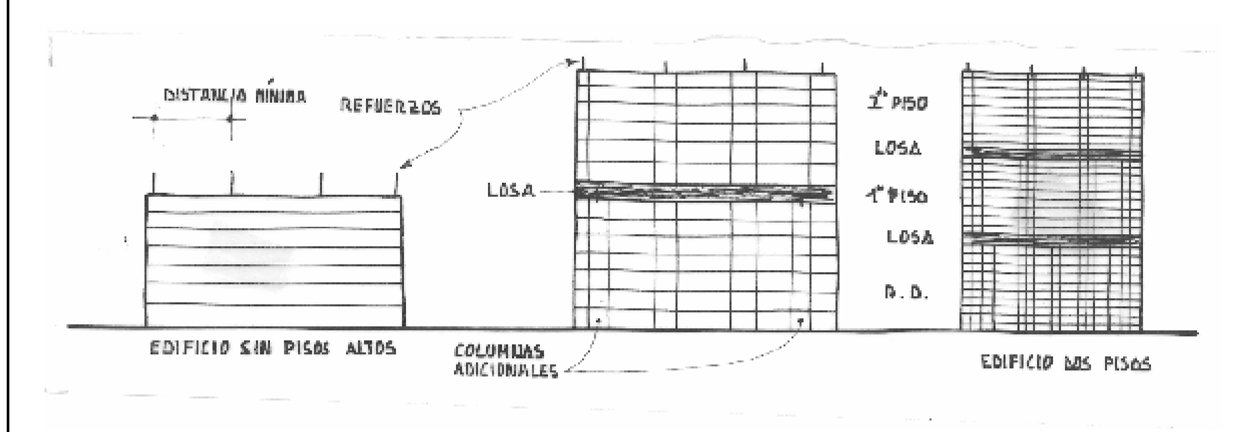
8.1.4 Las paredes que son requeridas por grandes fuerzas de corte deben ser confinadas y tener refuerzo horizontal y vertical.

Los refuerzos horizontales son eficaces para resistir a los agrietamientos diagonales

8.1.5 Las paredes que son requeridas por grandes fuerzas verticales deben tener refuerzo vertical para resistir el pandeo.



La ventaja de estos sistemas es que el método de trabajo es muy rápido y las cargas se transmiten a las paredes por medio de núcleos rellenos. En estos sistemas se puede disminuir gradualmente la cantidad de *columnas* rellenas a medida que una construcción gana en altura.



8.1.6 Las esquinas y las juntas entre vigas de arriostramiento y confinamiento de la mampostería deben reforzarse con estribos y anclajes adicionales para dar mejor ductilidad y eslabonamiento. Estos anclajes y estribos deben ser preferentemente de acero.

8.2 Forma.

8.2.1 Los espesores mínimos dados en la tabla 5.3 deben observarse para paredes soportantes.

Los bloques y ladrillos alivianados o con huecos tienen preferencia sobre los macizos, en razón del peso y los efectos sísmicos consecuentes.

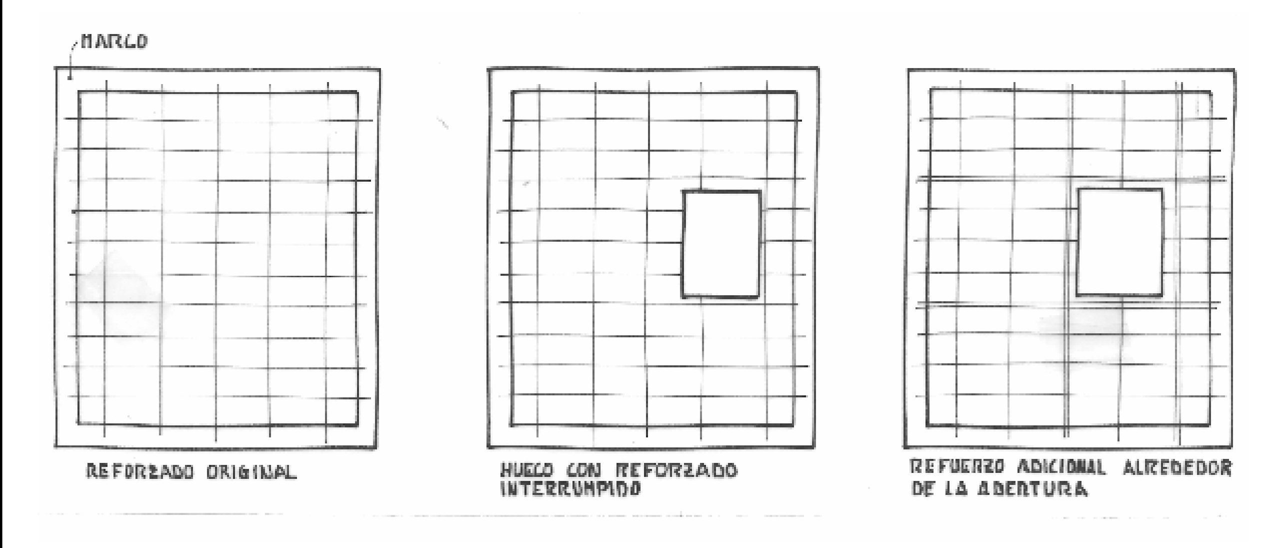
8.2.2 Las juntas entre los elementos para paredes soportantes o cargadas deben estar alisadas con la cara de la construcción.

8.2.3 Las mamposterías deben ser construidas de tal manera que las cargas actúen lo más concéntricamente posible.

Esto puede lograrse mediante vigas de confinamiento arriostradas alas losas u otros elementos constructivos.

8.2.4 Las paredes resistentes al corte deben tener de preferencia un ancho igual a la altura o más, pero sin interrupciones de ventanas, puertas, etc.

Cuando no se pueden evitar las aberturas, se deben desplazar todas las fuerzas que cruzan el lugar de la abertura hasta los lados de la misma.

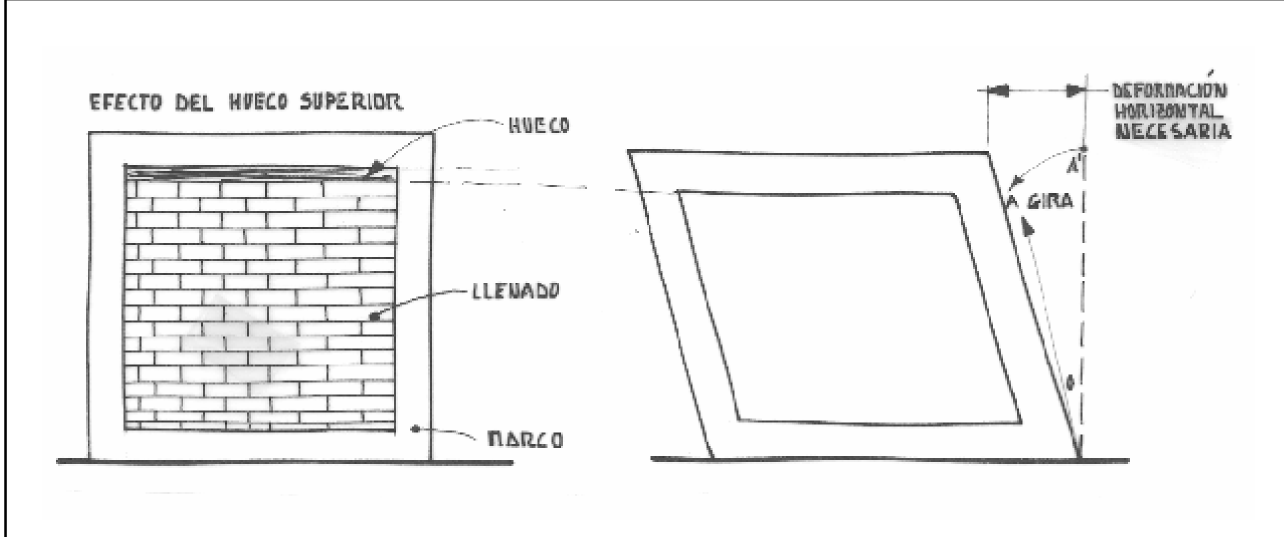


8.2.5 Las paredes que se construyen entre las columnas estructurales únicamente pueden funcionar como elementos estructurales adicionales, cuando el diseño estructural (dúctil) de la columna está suficientemente adaptado para prever esta situación.

8.2.6 Las columnas de confinamiento o de arriostramiento incorporadas en las paredes de 15-20 cm no pueden funcionar como elementos estructurales del edificio, por cuanto las columnas constructivas deben tener una medida mínima de 30 cm en sección.

8.2.7 Las partes de las paredes, dentro de un elemento de mampostería confinado, deben estar bien unidas y arriostradas a la viga superior. Cuando existe un juego o hueco horizontal entre la pared y la viga superior, debido a un relleno posterior, la resistencia de la pared se ve reducida, por cuanto esta construcción debe deformarse en forma prolongada antes de que la pared interior participe en su totalidad. Por esta razón se recomienda construir la viga de confinamiento después de la construcción de la pared.

8.2.8 Se recomienda utilizar en todas las construcciones medidas modulares de M o del multimódulo 3M; respecto a la altura, el multimódulo de 2M, y con altura interior preferida entre piso acabado y cielo raso de 1,40 m.



8.3 Materiales

8.3.1 La mampostería reforzada es un material compuesto, que consta de un material que trabaja en compresión y otro que funciona en tensión.

Por esta razón es importante que:

a) exista una buena adherencia entre ambos materiales,
b) las características de elasticidad no tengan grandes diferencias,
c) el conjunto no esté sujeto a un deterioro a corto plazo, por efecto del clima u otras circunstancias.

8.3.2 Los elementos de la mampostería se unen con un mortero u hormigón fino, que debe tener una característica de elasticidad que esté en armonía con la de los elementos y que asegure un eslabonamiento adecuado entre los mismos.

La resistencia a la compresión de este mortero u hormigón debe ser aproximadamente de 1/5 a 1/3 superior a la resistencia promedio de los elementos (bloques-ladrillos).

8.3.3 Se recomienda utilizar cal o cal hidráulica en el mortero para aumentar la elasticidad de la construcción, tanto en un terremoto como en la deformación permanente sin rajaduras, por el asentamiento de las cimentaciones.

8.3.4 Las arenas para morteros de albañilería tienen un módulo de finura entre 1,5 hasta 3,0 con partículas finas máximo del 1% en peso.

La cantidad de agua depende de la cantidad de cal o de cemento, debiendo ser máximo de 0,65 en peso.

De ser necesario, se debe remojar los elementos para evitar la absorción excesiva del agua del mortero.

8.3.5 Recomendamos las composiciones siguientes, para los trabajos de albañilería respectiva. A los 28 días conviene realizar el análisis de la resistencia de los elementos de albañilería y de los morteros para verificar si existe una composición adecuada.

Cuando se emplea cal hidratada de buena calidad, deben utilizarse las siguientes composiciones para obtener aproximadamente los tipos de morteros anotados:

Tipo	Cemento	Cal	Arena
1o. calidad f > 100 kg/cm^2	1	1/4	4
2o. calidad f > 60 kg/cm ^{2}	1 1	1 1/2	6 5
3o. calidad f > 30 kg/cm'	1 1	1 2	7 8

Cuando la calidad de la cal no es aprobada, se deben aumentar las cantidades de cal en un 50% a las composiciones respectivas indicadas en el cuadro anterior.

8.3.6 Pueden utilizarse tiras de bambú, nervios de hoja de palma, madera de palmera, hierros y otros refuerzos rígidos para todo tipo de refuerzo vertical u horizontal; para anclajes y estribos conviene un material dúctil.

8.3.7 Pueden utilizarse fibras cortas y fibras compuestas de sogas o cables en las juntas horizontales.

Las fibras cortas (longitudes de 2 a 5 cm) pueden ser enteramente mezcladas con el mortero u hormigón, para formar vigas horizontales o columnas verticales dentro de los bloques huecos.

8.3.8 Para las fibras y otros materiales vegetales, es importante que se logre una buena preservación contra la putrefacción y se evite utilizarlos en construcciones expuestas a la humedad, por ejemplo, en paredes exteriores.

8.3.9 Cualquier albañilería reforzada, que tenga funciones soportantes en el edificio, debe ser resistente al fuego durante una hora por cada piso de altura, con un máximo de 3 horas.

8.3.10 No se recomienda empotrar tuberías, cables y ductos en las partes reforzadas de paredes estructurales. Estas tuberías pueden colocarse dentro del acabado.

8.4 Esfuerzos admisibles

8.4.1 Para conocer la resistencia de los muros de albañilería de ladrillos o bloques, el valor $f'm$ se puede determinar por medio de la compresión por lo menos de 6 unidades de albañilería, que consten mínimo de 3 hileras cada una. Para cada unidad, la relación altura-ancho debe ser 1 y la relación altura-espesor 5. La resistencia se obtiene como el promedio de los 2/3 de los valores obtenidos, excluyendo el 1/3 correspondiente a los 2 valores más altos.

8.4.2 Los esfuerzos máximos admisibles para albañilería reforzada, incluyendo los efectos de carga vertical, sismo y viento, son:

a) compresión axial, muros-columnas 0,30 0,30 f'm
b) compresión por flexión, muros-columnas 0,40 f'm
c) tracción por flexión, en cuanto el refuerzo 0,50 f'm
esté calculado para tomar el esfuerzo de
tracción $0{,}3\sqrt{f'\mathrm{m}}$
d) corte, sin armadura (máximo 2 kg/cm^2)
corte, con armadura (máximo 5 kg/cm ^{2}) $0{,}6\sqrt{f'\mathrm{m}}$
e) compresión de apoyo excéntrico 0,4 f'm
f) módulo de elasticidad Em 600 f'm

Generalmente, se puede decir que, mientras más grandes son las unidades de mampostería, más eficiente es el uso de su propia resistencia. Una pared hecha de muchos ladrillos pequeños tiene una resistencia muy inferior a la resistencia del ladrillo mismo (30%), mientras que una pared hecha de bloques grandes puede tener una resistencia igual a la del bloque.

Además, se ha comprobado que aumentando la resistencia del elemento no se aumenta significativamente la resistencia de la pared, cuando esta pared consta de muchos elementos pequeños.

Resistencia de unidades		**Bloques 2,75-7 MN/m^2**	**Ladrillos 14-35 MN/m^2**	**Ladrillos 70 MN/m^2**
Relación de resistencia	1,0	x x		
Resistencia pared	0,8	x x		
Resistencia unidad	0,6	x x		
	0,4		x x x	
	0,2			x x x

Los morteros utilizados tienen una resistencia de 4-14 MN/m^2. La mínima resistencia recomendada para bloques de mampostería constructiva es de 2,75 MN/m^2 sobre la sección total (275/cm^2). Únicamente cuando existe buen control de ejecución de la obra se pueden utilizar bloques o ladrillos de una resistencia mínima de 2 MN/m^2

BIBLIOGRAFIA

Código Ecuatoriano de la Construcción. Parte L Requisitos Generales de Diseño. Parte II. Requisitos de Diseño del Hormigón Armado. INEN, 1977.

Reglamento Nacional de Construcciones. Ministerio de Vivienda *y* Construcción. Oficina de Investigación y Normalización. Lima, Perú, 1977.

Guía Popular de Construcción Sismo-resistente. INEN, 1977.

Estudio experimental del comportamiento estructural de las construcciones de adobe frente a solicitaciones sísmicas. Ing. Miguel Corazao e Ing. Marcial Blondet. Departamento de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica. Lima, Perú, 1975.

Recomendaciones sobre el empleo de mampostería en construcciones para vivienda en zonas sísmicas. R. Meli, O. Hernández. Instituto de Ingeniería. Universidad de México, 1976.

Strengthening of brick buildings in seismic zones. Jai Krishna and Brijesh Chandra. University of Roorkee. U.P. India, 1969.

Estudio del comportamiento de muros de albañilería reforzada de ladrillo de barro cocido a escala natural, bajo la acción de cargas verticales, horizontales y de impacto. Universidad de San Carlos de Guatemala. Ing. Emilio Beltranena M. Guatemala, 1976.

Resistencia sísmica de albañilerías. Rodrigo Flores Álvarez. Departamento de Ingeniería Estructural. Escuela de Ingeniería de la Universidad de Chile. Santiago, Chile, 1976.

Behaviour of load bearing brick walls during earthquakes. Jai Krishna, Brijesh Chandra, S. K. Kanungo. University of Roorkee. Roorkee U. P. India, 1968.

Strengthening of brick buildings against earthquake forres. Jai Krishna and Brijesh Chandra. University of Roorkee. Roorkee U. P. India, 1965.

Reinforcement of concrete with sisal and other vegetable fibres. Lennart Nilsson. D14-1975 Swedish Council for Building Research.

New horizons in construction materials. Hsai-Yang Fang. ENVO Publishing Co. Pennsylvania 18001, 1976.

On the stifnesses and strengths of infilled frames and supplementary notes. R. J. Mainstone. Building Research Station. Watford, England, 1972.

The influence of a bounding frame on the racking stiffness and strengths of brick wall. R. J. Mainstone, G. A. Weeks. BRS. Watford, England, 1972.

Strength of brick work, block work and concrete walls. BRE Digest No. 61. Garston-Watford, 1975.

COBE. Adobe estabilizado. Informe Técnico. Ministerio de Vivienda y Construcción. Oficina de Investigación y Normalización. Lima, Perú, 1977.

Reinforced Masonry Handbook. J. E. Amrhein, Masonry Institute of America. Los Angeles California 90057. 2da. Edition 1973.

Mortars for Bricklaying. BRE digest No. 160, 1972.

Estudio experimental sobre la resistencia de muros de albañilería sometidos a cargas horizontales. Luis Josquera J. Santiago, julio 1963. Revista IDIEM Vol. 3. No. 3, 1964.

Earthquake resistant construction of Brick Buildings. Behaviour of load bearing brick shear walls with openings. Brijesh Chandra, Krishen Kumar, Murari Lai. Civil Engineering Department, University of Roorkee. India.

Documento preparado por: **Ing. Arq. Sjoerd Nienhuys**
Asesor División de Construcción

Revisado por: **Ing. Carlos Naranjo C.**
Coordinador Código de la Construcción

Arq. Carlos Maldonado P.
Jefe División de Construcción